Alpha Centauri, la estrella más próxima

Isaac Asimov

Título original: *Alpha Centauri – The Nearest Star*
Traductor: Santiago García Conde

Escaneo: Bel Alvardán
Corrección: DonMaor

Primera edición en El Libro de Bolsillo: 1984
Segunda edición en El Libro de Bolsillo: 1985

Calle Milán, 38; ☎ 200 00 45
ISBN: 84-206-0020-2
Depósito legal: M. 6.468- 1985
Papel fabricado por Sniace, S. A.
Impreso en Closas-Orcoyen, S. L. Polígono Igarsa
Paracuellos del Jarama (Madrid)
Printed in Spain

A JOHN MINAHAN y al personal de la revista *American Way*, por dos años de agradabilísima asociación

1. Las constelaciones

El movimiento de la luna

Imaginaos una noche oscura y sin nubes en alguna zona rural en la que no haya alumbrado urbano ni luces de autopistas. En una noche así, veríamos lucir las estrellas con más brillo y en mayor número de lo que es posible actualmente en muchos lugares en condiciones ordinarias.

Veríamos cientos y cientos de ellas, algunas brillantes y otras débiles, formando diversas agrupaciones o figuras. Si las observásemos todas las noches, podríamos empezar a reconocer algunas de esas configuraciones: aquí dos estrellas brillantes próximas entre sí, allá un grupo de siete estrellas que recuerda la forma de un cucharón, en otro lugar tres estrellas de brillo medio dispuestas en línea, con dos más brillantes por encima y otras dos por debajo.

Podríamos notar que tales figuras permanecen siempre iguales, noche tras noche, año tras año. Quizá observaríamos también que estas configuraciones van cambiando de posición cada noche. Un determinado grupo de estrellas puede que se hallara cierto día cerca del horizonte oriental al caer la noche; cada noche, a la misma hora, ese grupo estaría cada vez más alto en el firmamento, hasta a llegar a la máxima altura que le es dado alcanzar y luego ir descendiendo hasta el horizonte occidental.

Llegaría un momento en que ya no sería posible verlo al anochecer, porque se hallaría por debajo del horizonte en el oeste. Pero entonces, si esperáramos el tiempo suficiente, aparecería de nuevo en el horizonte oriental a la hora del crepúsculo vespertino. El tiempo que cualquier grupo de estrellas necesita para su movimiento completo alrededor del firmamento es de 365 días.

Ahora bien, ¿nos molestaríamos en observar las estrellas noche tras noche, hasta que empezásemos a reconocer sus agrupaciones y ver la forma en que se mueven? Es evidente que miraríamos al cielo con gran atención si nos reportara alguna utilidad. Hace muchos años, antes de que existiesen los relojes, los hombres solían estudiar el movimiento de las estrellas mientras éstas desfilaban a través del cielo, para hacerse una idea de si era antes o después de media noche y de cuánto tiempo podía faltar hasta el amanecer.

En el firmamento había otro objeto que, para la gente de la antigüedad, tenía mucha más importancia que las simples estrellas y que, por otro lado, era mucho más fácil de observar: la Luna.

Las estrellas son meros puntos luminosos, mientras que la Luna es una superficie iluminada bastante grande. Las estrellas presentan el mismo aspecto noche tras noche: la Luna cambia de forma. Unas veces es un círculo luminoso completo, otras es sólo un semicírculo o una delgada raja de luz.

Luna sólo hay una, de manera que es mucho más fácil mirarla y estudiarla que tratar de observar cientos y cientos de estrellas. Es mucho más grande y más brillante que cualquier estrella, y sus cambios de forma resultan fascinantes. Cabría asegurar que los hombres ya observaban la Luna nocturna antes de prestar una atención muy detenida a las estrellas.

No hace falta observar la Luna durante mucho tiempo para ver que cambia de forma de un modo regular. Podemos verla muy baja en la parte occidental del firmamento cualquier noche inmediatamente antes de la puesta del sol; es un fino creciente, apenas perceptible. Es más, se está poniendo y desaparece tras el horizonte occidental poco después que el Sol.

La noche siguiente, el creciente es más grueso; aparece más alto en el cielo, y se pone más tarde. Una noche después, el creciente es más grueso todavía. Al cabo de siete noches, es un semicírculo de luz que se encuentra encima de nuestras cabezas a la puesta del Sol y que no se pone hasta media noche. Entonces está en "cuarto creciente".

La Luna continúa creciendo noche tras nocbe, y cada vez se encuentra más lejos del Sol al ocultarse éste. Finalmente, catorce días después de su primera aparición en forma de creciente en el cielo occidental, se presenta como un círculo luminoso completo, "una Luna Llena" y se halla tan lejos del Sol, que aquélla está saliendo por el este cuando este se pone por el oeste.

Después, la Luna aparece en el firmamento a la puesta del Sol. Está tan alejada de éste que se halla más allá del horizonte oriental. Sale, desde luego (cada noche más tarde) y, a medida que van pasando noches, se va haciendo más y más delgada. Finalmente, sale de nuevo en forma de media luna ("cuarto menguante") al filo de la media noche.

Continúa saliendo cada vez más tarde y haciéndose cada vez más delgada, hasta que otra vez aparece como un fino creciente que sale justo al amanecer, no mucho antes que el Sol. Un par de días más tarde, la fina raja de Luna se deja ver muy baja en el oeste inmediatamente después de la puesta del Sol, y todo el ciclo comienza de nuevo. Se habla de una "Luna nueva" cuando por primera vez aparece ese creciente en el oeste.

La Luna parece realizar un circuito completo en el firmamento, empezando cerca del Sol y retornando de nuevo a él. Mientras lo hace, pasa por todas sus fases: de Luna nueva a cuarto creciente (media Luna), a Luna llena, otra vez a media Luna (cuarto menguante), y a Luna nueva. El tiempo que emplea la Luna en describir su círculo completo en el cielo, de Luna nueva a Luna nueva, es veintinueve días y medio, y a este período de tiempo se lo llama un "mes".

¿Por qué es importante todo esto? Porque la Luna fue el primer calendario que tuvieron los seres humanos (y todavía hoy sigue siendo la base de los calendarios judío y musulmán).

También existen ciertos ciclos de estaciones. Hay estaciones lluviosas y estaciones secas, estaciones cálidas y estaciones frías, épocas en que la caza es muy abundante y otras en que no lo es, unas en que se puede contar con hallar frutos en los árboles y arbustos, y otras en que no.

Estas estaciones se repiten de un modo regular. En los tiempos primitivos, aquellos que eran capaces de averiguar la forma en que se producía esta repetición y sabían cuando había cuándo había que esperar cada cambio, podían prepararse mejor para las nuevas condiciones, y vivir bien y con mayor comodidad.

Esto continuó siendo cierto después de que el hombre aprendiera a explotar la tierra: a sembrar, cultivar y recoger las cosechas. Tenía que saber cuándo era la mejor época para sembrar o plantar y para cuándo podía esperar la recolección. Para ser un buen agricultor había que entender los cambios de las estaciones y ser capaz de preverlos.

Resultaba que cada doce meses (más un pequeño tiempo adicional) las estaciones empezaban a repetirse. Esos doce meses formaban un año. En los tiempos antiguos, los hombres esperaban impacientemente cada Luna nueva y celebraban su aparición con una

fiesta religiosa. Contaban las Lunas nuevas para saber exactamente cómo ordenar sus cultivos y sus vidas con arreglo a las estaciones.

A medida que la Luna pasaba por su ciclo de cambios a lo largo del mes, variaba su posición con respecto a las estrellas. Una noche podía estar próxima a un determinado grupo de estrellas, pero la noche siguiente estaría más hacia el este, cerca de otro grupo vecino del primero, la tercera noche aún más desplazada hacia el este, y así sucesivamente.

Incluso aquellas personas que no sintieran inclinación a estudiar las estrellas por puro interés en ellas, considerarían importante hacerlo si ello les proporcionaba una mayor comprensión de los movimientos de la Luna. En esta forma, por el estudio de los movimientos de la Luna, es como puede haber tenido su principio la astronomía. Los primeros astrónomos importantes que dejaron testimonios o registros escritos vivieron en Sumeria, tierra situada en lo que hoy es el sur de Irak, hace unos cuatro o cinco mil años.

A los astrónomos sumerios les pareció útil fijarse en unos veintiocho grupos de estrellas (“estaciones de la Luna”) a lo largo del recorrido de ésta. La Luna se desplazaba desde un grupo en una noche determinada al grupo inmediato la noche siguiente, etc. Así, con un rápido vistazo a la Luna en el firmamento nocturno, podían saber cuántos días habían transcurrido desde la última Luna nueva y cuántas faltaban hasta la siguiente.

El Sol y el Zodíaco

Sin embargo, la Luna no es un calendario perfecto. Si contamos doce meses lunares (de Luna nueva a Luna nueva), el resultado que obtenemos es 354 días. El ciclo de las estaciones es más largo. La primavera empieza cada 365 días y 1/4 (por término medio). Si uno sembrase sus semillas en una determinada Luna nueva y cuando hubiesen transcurrido doce meses, las sembrara de nuevo, estaría haciéndolo con once días de adelanto. Cuando esto se hubiera repetido unas cuantas veces, estaría haciendo la siembra en mitad del invierno, y no obtendría cosecha alguna.

Un posible método para corregir esto consiste en esperar hasta que el calendario lunar se atrase un mes con respecto a las estaciones, y añadir entonces un mes adicional, de modo que el calendario lunar concuerde nuevamente con las estaciones. Ello significa que algunos años tendrán doce meses, y otros, trece. En realidad, se llegó a elaborar un sistema en el que los años se agrupaban por ciclos o conjuntos de diecinueve, algunos de los cuales tenían doce meses y otros trece, según una pauta que se repetía cada diecinueve años. Los babilonios y los antiguos griegos tenían un calendario de este tipo; y el calendario religioso judío ha continuado siendo así hasta nuestros días.

Una vez que los primeros astrónomos empezaron a marcar las estaciones de la Luna, se dieron cuenta de que el Sol se movía también con respecto a las estrellas. Noche tras noche, cada estación de la Luna se hallaba a una distancia del Sol ligeramente diferente.

El Sol seguía alrededor del cielo una trayectoria circular (medida por su posición entre las estrellas), trayectoria que difería ligeramente de la de la Luna. Las dos sendas se cruzaban en dos puntos, en lados opuestos del firmamento. Llegó un tiempo en que se dio al camino o trayectoria del Sol el nombre de “eclíptica”, porque cuando el Sol y la Luna

coincidían simultáneamente en su llegada a uno de los puntos de cruce, la Luna pasaba por delante del Sol y se producía un eclipse.

La Luna, en su movimiento, una vez cada 27 1/3 días, alrededor del cielo con respecto a las estrellas, no completaba un ciclo exacto de sol a sol. Durante todo ese tiempo, mientras la Luna se movía, el Sol se estaba desplazando también, pero mucho más lentamente. La Luna necesitaba sólo un poco más de dos días adicionales para alcanzar al Sol, de modo que el circuito completo de la Luna por el cielo, de sol a sol, era de 29 ½ días.

(Estas pequeñas complicaciones en el movimiento de la Luna hicieron que los astrónomos tuvieran que permanecer siempre atentos, lo cual fue bueno. El intento de resolver todos los detalles del movimiento de la Luna les llevó a pensar en el movimiento del Sol, y de esto a otras cosas. Cuando algo resulta demasiado fácil, la gente tiende a satisfacerse con excesiva facilidad y no se realiza ningún progreso.)

La mayor lentitud del movimiento del Sol significa que su giro completo alrededor del firmamento, contra el fondo de las estrellas, le lleva 365 1/4 días. Lo importante en cuanto a esto es que el tiempo que emplea el Sol en realizar un circuito completo en el firmamento es exactamente el que las estaciones tardan en repetirse.

Si uno se guía por la posición que ocupa el Sol entre las estaciones de la Luna, en vez de por la posición de ésta, podrá sembrar y cosechar cada año en las mismas épocas, sin fallo alguno. Asimismo, podrá esperar que cada año la época de lluvias o de la crecida de un río se produzca por las mismas fechas.

Era mucho más práctico vincular el calendario a los movimientos del Sol que a los de la Luna. En lugar de hacer que cada mes tuviera 29 ó 30 días para coincidir con la llegada de cada Luna nueva, se le podía dar 30 ó 31 días, de modo que doce de ellos coincidieran con la llegada de cada Luna nueva, exactamente con la repetición de las estaciones.

A pesar de ello, tal "calendario solar" no fue aceptado rápidamente por los antiguos. El calendario "lunar", o basado en la Luna, había llegado a adquirir un carácter tan tradicional que la gente no quería abandonarlo. Los antiguos egipcios fueron los primeros que adoptaron un calendario solar. En el año 46 a.C., Julio César impuso a los romanos el calendario egipcio.

Mientras tanto, incluso las naciones que se aferraban a un calendario lunar se dieron cuenta de la importancia que tenía el estudio del movimiento del Sol y se elaboró un sistema de "estaciones solares". La eclíptica se dividió en doce secciones, cada una de las cuales era la distancia en la que el Sol se desplazaba en un mes.

Supongamos que en la época de la siembra en primavera se encuentra en la estación solar 1. Al mes siguiente pasará a la estación solar 2, a la 3 un mes más tarde, y así sucesivamente. Cuando vuelva a la estación solar 1, será de nuevo tiempo de sembrar.

(En realidad no es posible ver en que estación se encuentra el Sol, porque su reverbero enmascara completamente las estrellas situadas en su proximidad. Sin embargo, se pueden ver las estaciones solares próximas a ella inmediatamente después del ocaso y antes del orto o amanecer, y en esta forma se puede saber en qué estación se encuentra el Sol una vez aprendidas todas de memoria.)

Cada estación contiene una configuración o agrupamiento de estrellas diferente, y si uno conoce cada una de estas doce configuraciones, dispone de un calendario de las estaciones.

Cada estación solar va asociada a la agrupación o configuración de estrellas correspondiente, a la que se ha dado una denominación llamativa, basada en un objeto que

pueda verse en ella. Así es más fácil recordarla y reconocerla. En cierto momento, se dio a estas agrupaciones o configuraciones de estrellas el nombre de "constelaciones", derivado de palabras latinas que significan "estrellas tomadas en conjunto".

Diríamos, pues, que el Sol, al desplazarse a lo largo de la eclíptica y trazar su círculo alrededor del firmamento, cruza las doce constelaciones, llevándole un mes el paso por cada una de ellas.

Los nombres de las diversas constelaciones se han derivado algunas veces de animales conocidos. En un lugar de la eclíptica, por ejemplo, hay un grupo de estrellas curvado como una S, bastante parecido al cuerpo de un escorpión. En uno de sus extremos, las estrellas parecen formar una curva pronunciada como la cola de este animal, y en el otro extremo, dos curvas de estrellas semejan unas pinzas. Naturalmente, esa constelación recibe el nombre de "Escorpión".

Como es lógico, cada uno de los países que han estudiado esta constelación en forma de escorpión la conocía por el nombre del animal en su propia lengua. Hoy, sin embargo, los astrónomos de todos los países usan la palabra latina. La palabra latina que designa al escorpión es *scorpius*, de manera que así es como llamamos a la constelación. Podemos decir, por ejemplo, que "el Sol está en Scorpius", y todo el mundo sabrá lo que queremos decir.

En otra parte de la eclíptica hay un grupo de estrellas en forma de V, que recordaba la cabeza de un toro con dos largos cuernos. A esa constelación se la llamó el "Toro". La palabra latina que significa toro es *taurus*, y ése es el nombre de esta constelación.

Puesto que muchas de las constelaciones que hay a lo largo de la eclíptica llevaban nombres de animales, los griegos llamaron al conjunto de las doce *zodiakos*, que en griego significa "círculo de animales". Nosotros lo llamamos "Zodíaco".

El Zodíaco fue concebido en su forma actual alrededor del año 450 a. C. por un astrónomo griego llamado Enópides. En la tabla 1 tenemos la lista de las doce constelaciones del Zodíaco.

TABLA 1.– *Las constelaciones del Zodíaco* (en el orden tradicional)

Nombre latino	*Nombre en español*
Aries	Carnero
Taurus	Toro
Gemini	Gemelos
Cancer	Cangrejo
Leo	León
Virgo	Virgen
Libra	Balanza
Scorpius	Escorpión
Sagittarius	Sagitario
Capricornus	Capricornio
Aquarius	Acuario
Pises	Peces

El Sol y la Luna no eran los únicos cuerpos celestes cuyas trayectorias pasaban por las constelaciones del Zodíaco. Había también cinco objetos brillantes, semejantes a estrellas, que se desplazaban de una a otra constelación siguiendo trayectorias o sendas más

complicadas que las del Sol y la Luna. Los astrónomos de cada país dieron a estos brillantes cuerpos de aspecto estelar los nombres de diversos dioses o diosas a los que adoraban. Actualmente, los nombres oficiales de estos cuerpos, utilizados por los astrónomos de todo el mundo, son los de dioses y diosas romanos. Estos cinco cuerpos son: Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

Puesto que el Sol, la Luna, Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno se desplazaban todos con respecto a las estrellas y todos ellos seguían trayectorias que daban la vuelta alrededor del firmamento, los griegos los denominaron *planetas*, de una palabra de su idioma que significa "errantes". Las demás estrellas, que no se desplazaban, sino que permanecían siempre en su sitio, fueron conocidas como "estrellas fijas".

Los antiguos astrónomos estaban interesados principalmente en el movimiento de los planetas. Puesto que la posición se podía utilizar para predecir los cambios de las estaciones, surgió la noción de que se podría emplear la posición del conjunto de todos los planetas para predecir toda clase de cosas acerca del futuro de las naciones, de los reyes e incluso de la gente común. Esto dio origen al estudio de la "astrología", que todavía hoy goza de gran popularidad, aún cuando los astrónomos modernos la consideran carente de sentido.

Para los astrólogos, los planetas y el Zodíaco eran suficientes.

Sin embargo, una vez que uno empieza a estudiar las cosas, no se detiene fácilmente. Fuera del Zodíaco existen interesantes agrupaciones o configuraciones, y alrededor del año 275 a. C. un astrónomo griego llamado Aratus se dedicó a describir diversas constelaciones no zodiacales y a dar nombre a las mismas.

Su trabajo fue mejorado alrededor del 135 d.C. por un astrónomo griego que vivía en Egipto. Su nombre era Claudius Ptolemaeus, pero en la actualidad se le conoce usualmente por Tolomeo. Relacionó no só1o las doce constelaciones del Zodíaco, sino también otras treinta y seis situadas fuera de éste.

Tolomeo incluyó en cada constelación sólo aquellas estrellas que parecían formar el dibujo del animal, persona objeto cuyo nombre le atribuía. No incluyó en su lista las estrellas que quedaban entre tales dibujos o figuras.

Los astrónomos modernos no podían consentir este estado de cosas. Una vez que se inventó el telescopio, se descubrió un enorme número de estrellas cuyo brillo era demasiado pequeño para poder verlas a simple vista. Entre las constelaciones, tal como habían sido dibujadas en los tiempos antiguos, había grandes cantidades de estrellas.

En la a actualidad, los astrónomos no hacen caso de los dibujos antiguos. Tomando como base las antiguas constelaciones, dividen el cielo en áreas o secciones desiguales, limitadas por líneas rectas. Cada una de estas secciones contiene las estrellas de una de las constelaciones de Tolomeo (a excepción de algunos casos en que se ha dividido una constelación grande, o en que se han agregado aquí o allá otras nuevas de pequeño tamaño). Las constelaciones cubren ahora todo el cielo, y no hay ninguna estrella que no se halle incluida en una constelación u otra.

Los astrónomos dividen ahora el cielo en ochenta y ocho constelaciones, las cuales aparecen relacionadas en la tabla 2. Las ochenta y ocho constelaciones tienen formas desiguales y diferentes tamaños. El resultado final habría sido más pulcro si se hubiera podido dividir el cielo en tramos o secciones uniformes e iguales, pero ya es imposible abandonar las constelaciones que los astrónomos han venido empleando a lo largo de siglos. Por otra parte, no resultaría conveniente fraccionar configuraciones estelares más prominentes o cuyos tamaños son diversos.

La mayoría de las denominaciones empleadas no necesitan explicación alguna (casi la mitad de ellas son nombres de animales). Hay unas cuantas que no son fáciles, y las explicaré brevemente:

TABLA 2. –*Las constelaciones*

Nombre latino	*Nombre español*
Andrómeda	Andrómeda
Antlia	Máquina neumática
Apus	Ave del paraíso
Aquarius	Acuario
Aquila	Águila
Ara	Altar
Aries	Carnero
Auriga	Cochero
Bootes	Boyero
Caelum	Buril
Camelopardalis	Jirafa
Cancer	Cangrejo
Canes Venatici	Lebreles
Canis Maior	Can Mayor
Canis Minor	Can Menor
Capricornus	Capricornio
Carina	Quilla
Cassiopeia	Casiopea
Centaurus	Centauro
Cepheus	Cefeo
Cetus	Ballena
Chamaeleon	Camaleón
Circinus	Compás
Columba	Paloma
Coma Berenices	Cabellera de Berenice
Corona Australis	Corona Austral
Corona Borealis	Corona Boreal
Corvus	Cuervo
Crater	Copa
Crux	Cruz del Sur
Cygnus	Cisne
Delphinus	Delfín
Dorado	Dorada
Draco	Dragón
Equuleus	Caballito (o Caballo Menor)
Eridanus	Erídano
Fornax	Hornillo
Gemini	Gemelos
Grus	Grulla
Hercules	Hércules
Horologium	Reloj
Hydra	Hidra Hembra

Hydrus	Hidra Macho (o Hidra Austral)
Indus	Indio
Lacerta	Lagarto
Leo	León
Leo Minor	León Menor
Lepus	Liebre
Libra	Balanza
Lupus	Lobo
Lynx	Lince
Lyra	Lira
Mensa	Montaña de la Mesa
Microscopium	Microscopio
Monoceros	Unicornio
Musca	Mosca
Norma	Escuadra
Octans	Octante
Ophiuchus	Serpentario
Orion	Orión
Pavo	Pavo
Pegasus	Pegaso
Perseus	Perseo
Phoenix	Fénix
Pictor	Pintor
Pisces	Peces
Piscis Australis	Pez Austral
Puppis	Popa
Pyxis	Brújula
Reticulum	Retículo
Sagitta	Flecha
Sagittarius	Sagitario
Scorpius	Escorpión
Sculptor	Escultor
Scutum	Escudo de Sobieski
Serpens	Serpiente
Sextans	Sectante
Taurus	Toro
Telescopium	Telescopio
Triangulum	Triángulo
Triangulum Australe	Triángulo Austral
Tucana	Tucan
Ursa Maior	Osa Mayor
Ursa Minor	Osa Menor
Vela	Velas
Virgo	Virgen
Volans	Pez Volador
Vulpecula	Zorra (o Raposilla)

“Andrómeda” era el nombre de una joven de la mitología griega, a la que encadenaron a las rocas costeras como sacrificio a un monstruo marino.

“Casiopea” era el nombre de la madre de Andrómeda.

“Cefeo” era el padre de Andrómeda.

La Berenice de “La Cabellera de Berenice” fue reina de Egipto hacia el año 220 a.C.

“Hércules” era el nombre de un héroe de la mitología griega dotado de extraordinaria fuerza corporal.

“Orión” era el nombre de un gigantesco cazador de la mitología griega.

“Pegaso” era el nombre del caballo alado en los mitos griegos.

“Perseo” fue el héroe de los mismos mitos que, cabalgando a Pegaso, rescató y liberó a Andrómeda.

El más importante de todos, desde el punto de vista de este libro, es el “Centauro”. Se trataba de un monstruo de la mitología griega al que se representaba con cabeza, tronco y brazos de hombre, y con cuerpo y patas de caballo.

Subdivisión y delimitación de la Tierra y del cielo

Las ochenta y ocho constelaciones conocidas por los astrónomos actuales son bastantes más que las cuarenta y ocho relacionadas en la lista de Tolomeo. Algunas de ellas llevan nombres que Tolomeo jamás habría podido darles. No podría haberlas denominado “Microscopium” ni “Telescopium”, porque él nunca vio microscopios ni telescopios, ni supo de ellos. Del mismo modo, tampoco tuvo conocimiento de la brújula marina, ni del tucán, que es un ave de enorme pico, originaria de la América tropical.

La verdad es que ni Tolomeo ni ninguno de los astrónomos antiguos pudo ver todo el firmamento, por lo que antes de los tiempos modernos quedaba una gran parte de él que no estaba dividida en constelaciones. Cuando finalmente, los astrónomos pudieron estudiar en detalle la parte no subdividida del cielo, la dividieron en constelaciones adicionales, a veces con nombres modernos.

Uno de los objetos celestes que los antiguos astrónomos no tuvieron ocasión de ver, es el que constituye el tema de este libro. Por consiguiente, vale la pena que comprendamos por qué causa permaneció oculto durante tanto tiempo. Esta es la razón:

La Tierra gira alrededor de su eje de oeste a este, mientras que el cielo permanece inmóvil. El hombre que está sobre la Tierra no puede percibir o sentir el giro de ésta, puesto que el movimiento es suavemente uniforme. A nosotros, situados en la Tierra, nos parece que nuestro mundo permanece inmóvil, y que es el cielo el que gira lentamente (en sentido inverso, como en un espejo) alrededor de la Tierra.

El eje de la Tierra corta la superficie de ésta en los polos norte y sur. Si imaginamos que dicho eje se prolonga hacia el exterior hasta alcanzar el cielo, un extremo le alcanzará en el polo norte celeste y el otro en el polo sur celeste. Todo el firmamento parece girar lentamente sobre los polos celestes una vez cada veinticuatro horas.

Alineado exactamente con el ecuador de la Tierra, que se halla a la mitad justa de la distancia entre los polos norte y sur, se encuentra el ecuador celeste, también precisamente a la mitad de la distancia entre los polos norte y sur. Si uno se situara de pie sobre el ecuador terrestre, el ecuador celeste iría desde el este hasta el cenit del firmamento, sobre la

cabeza del observador, y luego descendería hasta el oeste. El polo norte celeste estaría en el horizonte septentrional, y el polo sur celeste se hallaría en el horizonte austral.

El firmamento parecería girar de este a oeste; el observador podría ver prácticamente la totalidad del cielo, y todas las estrellas saldrían por el este, ascenderían hasta pasar por encima y descenderían para ocultarse o ponerse por el oeste. La única parte que nuestro observador no podría ver sería la situada detrás del Sol y en sus inmediaciones; pero si siguiera observando día tras día, el Sol se iría desplazando lentamente y entonces podría llegar a ver la pare del cielo que había estado oculta por él.

Supongamos que el observador se desplaza luego desde el ecuador hacia el norte. El polo sur celeste quedaría ahora bajo el horizonte austral, oculto por el abombamiento de la esfera terrestre a sus espaldas. Cuanto más progresara hacia el norte, más caería el polo sur celeste por debajo del horizonte. Por otra parte, el polo norte se iría elevando en el cielo a medida que el observador avanzara. Cuanto más al norte se desplazase, más alto estaría en el firmamento el polo norte celeste. Finalmente, si el observador llegase al polo norte de la Tierra, el polo norte celeste quedaría directamente sobre su cabeza, y el polo sur celeste se hallaría bajo sus pies en el extremo opuesto del firmamento, al otro lado de la Tierra.

Exactamente lo contrario sucedería si el observador se moviese desde el ecuador hacia el sur. Entonces, el polo norte se iría hundiendo bajo el horizonte septentrional, y el polo sur celeste iría ascendiendo en el firmamento. Finalmente, si el observador llegara al polo sur de la Tierra, el polo sur celeste estaría directamente sobre su cabeza y el polo norte celeste se hallaría bajo sus pies, al otro lado del mundo.

(Precisamente, fue porque ocurría esto cuando se desplazaban al norte o al sur, que los griegos, en los tiempos antiguos, empezaron a sospechar que la Tierra era redonda, y no plana.)

La posición que ocupan los polos celestes en el firmamento es importante, porque las estrellas parecen girar alrededor de ellos. Los polos celestes mismos no se mueven, sino que permanecen fijos en un sitio, como el cubo de una rueda que gira. Esto significa que cuando uno de los polos celestes está debajo del horizonte, nunca se le ve en ningún momento de la noche. Permanece siempre bajo el horizonte; o, por lo menos, sigue allí mientras el observador permanezca en el mismo lugar de la Tierra.

Ello significa que desde ningún punto al norte del ecuador se verá jamás el polo sur celeste. Y desde ningún punto al sur del ecuador jamás se podrá ver el polo norte celeste.

Y no son sólo los polos celestes propiamente dichos los que son invisibles, sino también las regiones situadas en su inmediata vecindad.

Supongamos, por ejemplo, que nos encontramos bastante a1 norte del ecuador, de modo que la posición del polo norte celeste está bastante alta en el firmamento, mientras que el polo sur celeste se halle bastante por debajo del horizonte austral.

Las estrellas de la parte septentrional del firmamento se mueven describiendo círculos alrededor del polo norte celeste, y cuanto más próximas se hallan a él, más reducido y cerrado es el círculo que describen en el transcurso de la noche. Cerca del polo celeste el círculo es tan pequeño que las estrellas nunca se hunden por debajo del horizonte. Por esa razón, las estrellas próximas al polo norte celeste son siempre visibles en cualquier momento de la noche para cualquiera que esté bastante al norte del ecuador, y es posible observarlas en cualquier noche clara del año.

Cuanto más al norte vamos, más alto asciende en el firmamento el polo norte celeste, y más estrellas próximas a él giran a su alrededor sin llegar a hundirse bajo el horizonte. Al mismo tiempo, cada vez son más las estrellas próximas al polo sur celeste que

giran alrededor del mismo sin llegar nunca a salir por encima del horizonte. Cuanto más al norte se vaya, mayor será la porción del cielo austral que nunca podrá verse.

Finalmente, si uno se sitúa en el polo norte, el polo norte celeste se halla directamente sobre su cabeza y todas las estrellas se mueven a su alrededor en círculos paralelos al horizonte. Todas las estrellas que estén sobre el horizonte permanecen siempre sobre él y no se ponen nunca. Pero aquí se incluyen solamente las situadas en la mitad septentrional del firmamento. Todas las de la mitad meridional permanecen constantemente bajo el horizonte, y nunca salen... y tampoco son vistas desde aquel lugar.

Naturalmente, si el observador se desplaza hacia el sur del ecuador, la situación se invierte. Entonces es el polo sur celeste el que asciende en el cielo, y las estrellas próximas a él son las que están siempre visibles, mientras que son las situadas en la inmediación del polo norte celeste las que permanecen bajo el horizonte y nunca están visibles. Si uno se encuentra en el polo sur, el polo sur celeste se halla directamente sobre su cabeza, y es la mitad meridional del cielo la que se ve siempre, y la mitad norte la que nunca se ve.

Tolomeo y los demás astrónomos antiguos vivieron y realizaron su trabajo bastante al norte del ecuador, de modo que quedaba una buena parte del firmamento más meridional que nunca pudieron ver porque permanecía constantemente oculta bajo la curvatura de la Tierra.

¿Cuáles eran exactamente las partes del cielo que Tolomeo no pudo ver? Podemos contestar a esta pregunta si ideamos un método para dividir y delimitar la Tierra y el cielo en alguna forma regular. Supongamos, por ejemplo, que trazamos líneas imaginarias alrededor de la Tierra y paralelas al ecuador, en toda la extensión desde el ecuador hasta el polo norte en una dirección, y hasta el polo sur en la otra. El ecuador mismo rodea completamente la Tierra, dividiéndola en dos hemisferios iguales. Las líneas paralelas al ecuador forman círculos progresivamente menores.

Cuanto más al norte vamos, menor es el círculo que trazamos, y cuando estamos cerca del polo norte, los círculos son verdaderamente muy pequeños. En el polo norte mismo, los círculos se reducen a un punto. Lo mismo ocurre al sur del ecuador, donde los círculos disminuyen hasta convertirse en un punto en el polo sur.

Estos círculos paralelos al ecuador se llaman “paralelos de latitud”. La palabra “latitud” procede de una palabra latina que significa “ancho”, porque en un mapa plano ordinario los paralelos, lo mismo que el ecuador, aparecen trazados atravesando el mapa a lo ancho. Fue alrededor del año 300 a. C. cuando un geógrafo griego, Dicearco, empezó a trazar líneas de este a oeste en los mapas.

Es costumbre imaginar noventa de estos paralelos, a intervalos iguales, desde el ecuador hasta el polo norte, y otros noventa desde el ecuador hasta el polo sur. Los paralelos se numeran como “grados”. El ecuador mismo está a cero grados, ó 0°. Al desplazarse hacia el norte del ecuador, uno pasa por el paralelo un grado, el paralelo dos grados, y así sucesivamente. Cualquier punto de la Tierra que esté sobre la línea o marca de un grado al norte del ecuador, se dice que está a “un grado de latitud norte”. Si estuviera en la línea o marca de un grado al sur del ecuador, se diría que se hallaba a “un grado de latitud sur”. Estas expresiones se pueden escribir a forma abreviada como 1° N y 10° S.

Un punto de la Tierra podría estar a 10° N, ó 25° N, ó 77° N, o cualquier número de grados hasta el polo norte, que es 90°. También podría estar a 10° S, ó 25° S, ó 77° S, hasta 90° S en el polo sur.

Claro es que la mayor parte de los puntos de la Tierra no están exactamente sobre un paralelo de latitud, sino más bien entre dos de ellos. Desde los tiempos antiguos, se

acostumbra a dividir el espacio entre dos grados de latitud a sesenta “minutos de latitud” iguales. El espacio entre dos minutos de latitud se divide en sesenta “segundos de latitud” iguales.

Un método más sencillo es el consistente en el empleo de decimales. Un punto que se encuentre justamente a medio camino entre 31° N y 32° N estaría entonces en 31,5° N. Todo punto de la Tierra tiene su latitud. Si diéramos un solo paso hacia el norte desde 40° N exactos, estaríamos aproximadamente a la latitud 40,000045° N.

Los geógrafos trazan también líneas desde el polo norte al polo sur, que en los mapas ordinarios corren de norte a sur. A estas líneas se les da el nombre de “meridianos de longitud”. Los meridianos imaginarios cruzan el ecuador con separaciones de un grado entre ellos, con lo que hay 360 meridianos que rodean la Tierra, 180 de ellos al este de Londres y otros 180 al oeste de esta ciudad. Si especificamos el número de grados de longitud y el correspondiente a la latitud, podemos fijar el emplazamiento preciso de cualquier punto sobre la Tierra, porque sólo existe un punto en el que se cruzan un meridiano y un paralelo determinados. (En este libro, sin embargo, no trataremos de los meridianos de longitud.)

Es posible aplicar el sistema de grados de latitud también al cielo. (En realidad, se aplicó primero al cielo, porque los hombres podían ver que el firmamento era una gran esfera, mientras que de la Tierra sólo podían ver una pequeña parte y, al principio, no estaban seguros de su forma.) Hay paralelos de latitud trazados desde el ecuador celeste hasta cada uno de los polos celestes, también con 90 grados a cada lado. De toda estrella se puede decir que se halla en alguna latitud celeste determinada.

Frecuentemente se conoce a la latitud celeste como la “declinación”. En lugar de norte y sur, se usan los signos más y menos. El equivalente de 40° N en la Tierra es una declinación +40° en el cielo, mientras que 40° S en la Tierra es una declinación de –40° en el cielo.

Gracias al empleo de un mismo sistema en la Tierra y en el cielo, los cálculos se hacen más sencillos. Si uno se halla en un punto de la Tierra que esté en 40° N, entonces el polo celeste está 40 grados por encima del horizonte septentrional, y el polo sur celeste está 40 grados por debajo del horizonte meridional. Ello significa que cualquier estrella situada a menos de 40 grados del polo sur celeste nunca podrá alcanzar el horizonte sur en su giro circular alrededor del polo. Esas estrellas nunca salen y, por consiguiente, nunca se las ve en 40° N.

Cualquier estrella que esté a 40 grados o menos del polo sur celeste ha de tener una declinación de –50° o más, de modo que una persona situada en 40° N no puede ver ninguna estrella con una declinación de –50° o superior.

La cosa se desarrolla en la misma forma sea cual fuere el punto en que pueda estar situado el observador. Si estamos al norte del ecuador y restamos 90 de nuestra latitud, obtendremos la declinación que limita aquellas estrellas que no nos es posible ver. Si estamos en 20° N, no podemos ver ninguna estrella con una declinación de 70° o más; si estamos en 65° N, no podemos ver ninguna estrella con una declinación de –25° o más. Si estamos en 90° N (el polo norte), no podemos ver ninguna parte del cielo que esté más allá de O° (el ecuador). No podemos ver nada de la mitad meridional del firmamento.

En el hemisferio austral ocurre exactamente lo contrario. Si estamos en 20° S, no podemos ver ninguna estrella con una declinación de +70° o mayor; si estamos en 65° S, no podemos ver ninguna estrella con una declinación de +25°; y si estamos en 90° S (el polo

sur), no podemos ver ninguna parte del cielo más allá de 0° (el ecuador). Desde el polo sur, es la mitad septentrional del firmamento la que no se puede ver.

Desde el ecuador (a 0°), no se puede ver más allá de 90° en una dirección, o de –90° en la opuesta. Sin embargo, los +90° y –90° marcan los dos polos celestes, que son los dos extremes del cielo. Esto, desde luego, es una forma de decir que desde el ecuador se pueden ver todas las estrellas del cielo (aunque algunas de las próximas a los polos celestes estén siempre cerca del horizonte, y no se puedan ver tan claramente como es posible hacerlo desde otros puntos de la superficie terrestre.)

El firmamento austral

Volvamos ahora a Tolomeo. Tolomeo realizó sus trabajos en una ciudad llamada Alejandría, sita en la costa de Egipto. Alejandría está en 31,1° N, y desde aquel punto Tolomeo no pudo ver nunca ninguna estrella cuya declinación fuese superior a –58,9°. Para Tolomeo, por ejemplo, la constelación Centaurus estaba justamente en el horizonte meridional, donde era difícil verla.

Había, desde luego, pueblos que por vivir más al sur de Alejandría, e incluso al sur del ecuador, podían ver sin dificultad alguna hasta el mismo polo sur celeste. Sin embargo, todos los astrónomos de la antigüedad vivieron al norte del ecuador, y prácticamente todos ellos en latitudes supriores a los 30° N.

Esta situación no cambió hasta que los europeos empezaron a explorar el mundo en el siglo XIII. A medida que fueron avanzando hacia el sur a lo largo de las costas de África y, posteriormente, a lo largo de las de América del Sur, se encontraron explorando también el cielo austral.

En 1520, por ejemplo, el navegante portugués Fernando de Magallanes, navegando al servicio de España, se abrió camino a través de lo que hoy se conoce como el Estrecho de Magallanes, en el extremo meridional de América del Sur. El Estrecho de Magallanes está en 52° S, y desde allí es visible todo el firmamento austral, al hallarse el polo sur celeste a más de la mitad de la altura hasta el cenit.

Los marineros que navegaban con Magallanes observaron dos débiles manchitas luminosas bastante altas en el cielo. Parecían como pedacitos arrancados de la Vía Láctea. Desde entonces se las llama "Nubes de Magallanes", o "Nubes Magallánicas". La Nube Magallánica Mayor (o Gran Nube de Magallanes) tiene una declinación de aproximadamente –70°, y la Menor (o Pequeña Nube) de unos –72°. Ninguna de ellas es visible nunca desde Europa ni desde Estados Unidos, ni desde ningún lugar de la Tierra con una latitud norte mayor de 20° N (que es, aproximadamente, la latitud de Puerto Rico).

Algunos navegantes, al viajar hacia el sur mas allá del ecuador, empezaron a observar cuidadosamente las estrellas australes y a crear o elaborar nuevas constelaciones que Tolomeo nunca había visto. El primer intento se produjo en 1595, cuando un navegante holandés, Pieter Dircksz Keyser, hizo una relación de doce constelaciones. Otros señalaron o elaboraron más, hasta que en 1752 la lista quedó completa y los astrónomos tuvieron las ochenta y ocho constelaciones que se relacionan en la tabla 2.

En 1930 se dio carácter oficial a los limites de las ochenta y ocho; ahora no hay en el cielo ningún punto que no forme parte de una constelación u otra. La Nube Magallánica

Mayor se encuentra, por ejemplo, en la Dorada, mientras que la Nube Magallánica Menor está en el Tucán.

Algunas de las nuevas constelaciones ofrecían vistas especialmente interesantes. A una declinación de aproximadamente –60° podían verse cuatro brillantes estrellas, dispuestas en tal forma que parecían hallarse en los extremos de una cruz latina (un poquito deformada). Es posible que el primero en verlas y en dar noticia de ellas fuese un navegante italiano, Alvise de Cadamosto, cuando exploraba hacia el sur la costa de África en 1455. La constelación que se formó alrededor de estas cuatro estrellas es Crux (la Cruz del Sur).

La constelación Crux está justamente al sur de Centaurus, aquella que Tolomeo podía apenas distinguir algunas veces en el horizonte. Si se piensa a la constelación de Centaurus dibujada como la figura de un ser mitad hombre y mitad caballo (como se la representa frecuentemente), entonces la mitad equina se muestra a menudo hacia el sur, mientras que la parte humana está hacia el norte. Las patas del caballo se prolongan hacia la parte más meridional de la constelación, y, entre las patas del Centauro, y mucho más pequeña, está la constelación de Crux.

Una vez que se haya llegado hacia el sur lo suficiente para poder ver claramente la Cruz, se podrán ver también las estrellas de Centaurus con mayor claridad de la que Tolomeo pudo nunca conseguir (y algunas de ellas, nunca las pudo ver). Cadamosto pudo muy bien haber visto en la parte meridional de Centaurus dos brillantes estrellas, con una declinación algo superior a –60°; estaban, pues, solamente una pizca demasiado al sur para que Tolomeo pudiera verlas nunca.

Estas estrellas son Alpha Centauri y Beta Centauri. Y la primera de ellas es la que constituye el tema principal de este libro.

2. Las estrellas

Los nombres antiguos

Los nombres de estrellas concretas mencionados al final del capítulo precedente nos llevan a la cuestión de los nombres de las estrellas en general. ¿Qué es lo que determina el nombre que se aplicará a una estrella?

Algunas de las estrellas (no muchas) recibieron en la antigüedad nombres que se inspiraron en el aspecto de las mismas en el firmamento. En la tabla 3 se relacionan algunas de las estrellas que poseen nombres propios, junto con la constelación en que se encuentra cada una.

TABLA 3. –*Algunas estrellas con nombres propios*

Nombre de la estrella	*Constelación en que está*
Achernar	Eridanus
Alcor	Ursa Maior
Alcyone	Taurus
Aldebaran	Taurus
Algol	Perseus
Altair	Aquila
Antares	Scorpius
Arcturus	Bootes
Bellatrix	Orión
Betelgeuse	Orión
Canopus	Carina
Capella	Auriga
Castor	Gemini
Deneb	Cygnus
Fomalhaut	Piscis Australis
Mira	Cetus
Mizar	Ursa Maior
Polaris	Ursa Maior
Pollux	Gemini
Procyon	Canis Minor
Regulus	Leo
Rigel	Orión
Sirius	Canis Maior
Spica	Virgo
Vega	Lyra

Y ¿en qué forma se decidían tales nombres? He aquí cómo:

Hay en el firmamento dos estrellas bastante brillantes, separadas entre sí sólo unos 4 grados, y de aspecto muy similar. A cualquiera le parecería a primera vista que se trataba de dos estrellas gemelas y, en efecto, la constelación formada alrededor de ellas es Gemini (los

Gemelos). En los antiguos mitos griegos había una pareja de famosos gemelos, Cástor y Pollux. Parece natural que los griegos llamasen a una de las estrellas Cástor y a la otra Pollux, y nosotros seguimos todavía hoy conociéndolas por esos nombres.

La estrella más brillante del firmamento se llama Sirius (Sirio), nombre derivado de una palabra griega que significa “resplandeciente” o “ardiente”, lo cual parece adecuado para una estrella tan brillante.

Tenemos luego una estrella tan próxima al polo norte celeste que describe alrededor de éste un círculo pequeñísimo, y apenas parece cambiar su posición en el firmamento. Se la conoce en el lenguaje actual como la Estrella del Norte o Estrella Polar, pero su nombre es Polaris, palabra latina que significa “Polar”.

Sin embargo, en los tiempos antiguos las estrellas recibían nombres basados principalmente, no en sus propiedades individuales concretas, sino en la posición que ocupaban en las imágenes ideadas para las diversas constelaciones. Por ejemplo, a pequeña altura sobre el horizonte meridional se halla la constelación de Argos, nombre dado a la misma por los griegos en memoria del barco que llevó a Jasón y a sus argonautas en su búsqueda del Vellocino de Oro. El nombre del timonel del *Argos* era Kanopos en griego, y Canopus en latín. A una brillante estrella de la constelación se le dio el nombre del timonel y, puesto que los astrónomos usan siempre las denominaciones latinas, se la llama Canopus. Desde los tiempos antiguos, la constelación de Argos se ha fraccionado en otras agrupaciones de estrellas menores y más manejables y la parte en que se halla incluída Canopus se llama ahora Carina (la “Quilla” del Argos).

La constelación de Auriga (el Cochero) se suele representar como un hombre que lleva en la mano las riendas de un carro, mientras sostiene en su regazo a una cabra y sus crías. Se sitúa a la cabra en la posición de una brillante estrella a la que se llamó Capella, palabra latina que significa “cabrita”.

La constelación de Virgo se suele representar con una joven con una gavilla de mies en sus brazos. (El Sol se encuentra en Virgo a principios de septiembre cuando los agricultores se están preparando para la recolección.) La gavilla de mies se sitúa en la posición de una brillante estrella a la que se llama Spica, la palabra latina que corresponde a “espiga”.

La estrella resplandeciente, Sirius, forma parte de la constelación Canis Maior, el Can Mayor. Por esta razón, algunas veces se llama a Sirius la Estrella del Perro. En la vecina constelación de Canis Minor hay otra estrella brillante, que siempre va delante de Sirius a medida que gira el firmamento. Como esta estrella sale siempre un poco antes que Sirius (la Estrella del Perro), recibió el nombre de Procyon, de una frase griega que significa “delante del perro”.

La constelación de Bootes, el Boyero, está situada muy cerca de Ursa Maior, la Osa Mayor. El Boyero parece estar vigilando de cerca a la Osa Mayor para impedir que ésta haga algún daño. Una estrella brillante de Bootes se llama, por tanto, Arcturus, nombre derivado de palabras griegas que significan “guardián de la osa”.

Otra estrella de la constelación de Leo, el León, es Regulus, palabra latina que significa “reyezuelo” o “pequeño rey”; es un nombre adecuado para una estrella situada en una constelación en la que se ve representado el rey de los animales.

La constelación de Orión, que recibe su nombre del de un gigantesco cazador de la mitología griega, contiene varias brillantes. Una de ellas es Bellatrix, palabra latina que significa “mujer guerrera”. No está clara la razón de este nombre.

Hay una estrella cuyo nombre se deriva no de la constelación en que está, sino de un planeta. El planeta Marte, cuyo brillo rojizo recuerda la sangre, lleva muy adecuadamente el nombre del dios latino de la guerra. Los griegos le habían dado el nombre de su propio dios de la guerra, Ares. Una de las estrellas de Scorpius tiene un aspecto rojizo muy parecido al de Marte. Por consiguiente, los griegos la llamaron Antares, que significa "rival de Marte".

Todas las estrellas que hemos mencionado hasta aquí se hallan entre las más brillantes del firmamento. Naturalmente, éstas son las que atraen la atención y las que reciben nombres propios. También hay algunas, más débiles, que reciben nombre si llaman la atención por alguna razón que no sea la del puro brillo.

Por ejemplo, hay en la constelación de Taurus un pequeño grupo de estrellas no muy brillantes. Ninguna del grupo sería muy notable si estuviera aislada; pero, al formar un grupo, atraen la atención. No hay en el firmamento ningún otro grupo semejante visible a simple vista (aunque, cuando se utiliza el telescopio, se perciben muchos grupos bastante más notables).

Los griegos dieron a este grupo de estrellas el nombre de Pléyades, por las siete hijas de la ninfa Pleione, de su mitología. (La mayor parte de las personas sólo consiguen distinguir seis estrellas en este grupo, pero hay en él una séptima y, desde luego, el telescopio pone de manifiesto varios centenares más, que forman parte del grupo, pero que, individualmente, son demasiado débiles para poderse ver.) A cada una de las siete estrellas de las Pléyades que los antiguos lograban distinguir se le dio el nombre de una de las hijas de Pleione; Alcyone, o Alción es el nombre de la más brillante de ellas.

Otro ejemplo de estrella bastante débil que, sin embargo, ha recibido un nombre propio, es Mira, palabra latina que significa "maravillosa". La razón por la que se la llamó así es porque, a diferencia de otras estrellas, Mira exhibía variaciones de brillo, oscureciéndose de tiempo en tiempo y recuperando luego su brillo otra vez.

El número de estrellas con nombres cuyos orígenes se pueden remontar a los antiguos griegos y romanos es sorprendentemente pequeño. La mayor parte de las estrellas distinguidas con nombre propio lo tienen derivado de otra lengua completamente distinta que, a primera vista, resultaría sorprendente para la mayor parte de los occidentales. En efecto, la mayoría de las estrellas tienen nombres árabes.

Durante la Edad Media, los astrónomos importantes eran los árabes, y ellos dieron nombre a muchas de las estrellas. Los nombres que emplearon eran naturalmente árabes y, aunque muchos de ellos han llegado a nosotros algo deformados, todavía es posible reconocer en ellos su lengua de origen.

Por ejemplo, una brillante estrella de la constelación de Aquila se llama Altair, nombre procedente de palabras árabes que significan simplemente "la estrella".

Muchos de los nombres árabes describen la posición ocupada por la estrella en las figuras imaginarias que la constelación sugiere. La estrella brillante que marca la pierna izquierda de Orión es Rigel, palabra árabe que significa "pierna". La estrella que hay en el hombro derecho de Orión es Betelgeuse; de una expresión árabe que significa "hombro del gigante".

En el extremo meridional de las líneas curvadas de estrellas que forman la constelación de Eridanus (Erídano, o el Río), se encuentra Achernar, cuyo significado en árabe es "extremo del río". Y en un extremo de la constelación Piscis Australis (Pez Austral) está Fomalhaut, cuyo nombre se deriva de las palabras árabes que significan "boca del pez".

Una estrella situada en un extremo de la constelación de Cygnus (Cisne) es Deneb, de la palabra árabe que significa “cola”. En la constelación de Taurus existe una brillante estrella que sigue inmediatamente a las Pléyades en la rotación del firmamento. Es Aldebaran, de una palabra árabe cuyo significado es “el seguidor”. Los árabes veían la constelación Lyra (la Lira) como un buitre que caía, y una estrella brillante de esa constelación es Vega, de una palabra árabe que significa “caída”.

Hay en Ursa Maior dos estrellas próximas entre sí, una de las cuales es mucho más débil que las demás. Esta más débil es Alcor, nombre derivado de una palabra árabe que significa “la débil”. La otra, cuya luz, más intensa enmascara a la estrella más débil, es Mizar, palabra árabe que significa “velo”.

Finalmente, tenemos la estrella Algol, en la constelación de Perseus. Una de las grandes hazañas de Perseo, según los mitos griegos, fue dar muerte a la Medusa, ser monstruoso que tenía serpientes en lugar de cabellos, y cuyo aspecto era tan espantoso que cualquiera que lo mirase quedaba petrificado. Esta constelación se dibuja generalmente representando a Perseo con la cabeza de Medusa en la mano, y Algol está en dicha cabeza, de modo que algunas veces, y por esta razón, se la llama la “estrella del demonio”. El significado de Algol no resulta oscuro en absoluto, ya que se deriva del nombre de un demonio especialmente desagradable de la mitología árabe: el “ghoul”.

Los nombres modernos

En total son sólo unos cuantos cientos las estrellas que tienen nombres propios (principalmente árabes) entre las aproximadamente seis mil que se pueden ver a simple vista en el firmamento, pero aún así es casi imposible recordar estos nombres, o saber dónde se encuentran en el firmamento las estrellas que los llevan. Además, las estrellas del cielo austral, que los astrónomos antiguos y medievales no podían ver, nunca recibieron nombre alguno.

Cuando los navegantes europeos vieron por primera vez en el cielo a Alpha Centauri, era para ellos una estrella sin nombre. Tampoco hubo nadie que tratara de asignarle un sencillo nombre griego, latino o árabe, para equipararla a las estrellas conocidas de más antiguo. Por entonces ya se había empezado a reconocer la necesidad de idear algún sistema de nomenclatura que resultase más útil para los astrónomos.

La primera persona que trató de utilizar un sistema lógico fue un astrónomo alemán llamado Johann Bayer, que publicó en 1603 un atlas de mapas estelares, en el que introdujo su sistema.

Lo que hizo fue denominar a las estrellas brillantes de cada constelación por orden de brillo o, a veces, por orden de posición en aquélla. Empleando cualquiera de estos dos criterios, las relacionó como “la primera estrella de la constelación de Orión”, “la segunda estrella de la constelación de Orión”, etc., con la salvedad de que lo hizo en una forma bastante más concisa.

Para indicar el orden, empleó las letras del alfabeto griego. Para la primera estrella de la lista usaba la primera letra; para la segunda estrella, la segunda letra; para la tercera, la tercera, y así sucesivamente. En la tabla 4 hallará el lector todas las letras del alfabeto

griego, algunas de las cuales han llegado a ser familiares para las personas interesadas en la observación de los astros a través de los nombres de las estrellas en que entran tales letras.

Según el sistema de Bayer, la primera estrella de Orión habría sido (si en él se hubiera usado el castellano) “Alpha de Orión”; la segunda habría sido “Beta de Orión”, etc.

Bayer, sin embargo, utilizó el latín, y en esta lengua, cuando se desea indicar posesión o pertenencia, no se emplea una preposición, como ocurre en castellano, sino que se cambia la determinación y se utiliza el genitivo.

TABLA 4. –*El alfabeto griego*

Letra	*Símbolo*
Alfa	α
Beta	β
Gamma	γ
Delta	δ
Epsilon	ϵ
Zeta	ζ
Eta	η
Theta	θ
Iota	ι
Kappa	κ
Lambda	λ
Mu	μ
Un	ν
Xi	ξ
Omicron	ο
Pi	π
Rho	ρ
Sigma	σ
Tau	τ
Upsilon	υ
Phi	ϕ
Chi	χ
Psi	ψ
Omega	ω

El genitivo de Orión es Orionis, de modo que en vez de decir “Alfa de Orión” decimos “Alpha Orionis”. Las estrellas que siguen en orden a ésta son “Beta Orionis”, “Gamma Orionis”, y así sucesivamente. Algunas veces se usa el símbolo griego de la letra, de modo que entonces podemos escribir α-Orionis, β-Orionis, etc.

TABLA 5.–*Formas genitivas de las constelaciones*

Constelación	*Forma genitiva*
Andromeda	Andromedae
Aquarius	Aquarii
Aquila	Aquilae
Aries	Arietis

Auriga	Aurigae
Bootes	Bootis
Cancer	Cancri
Canis Maior	Canis Maioris
Canis Minor	Canis Minoris
Capricornus	Capricorni
Cassiopeia	Cassiopeiae
Centaurus	Centauri
Cepheus	Cephei
Cetus	Ceti
Crux	Crucis
Cygnus	Cygni
Dorado	Doradus
Draco	Draconis
Eridanus	Eridani
Gemini	Geminorum
Hercules	Herculis
Hydra	Hydrae
Leo	Leonis
Libra	Librae
Lyra	Lyrae
Ophiuchus	Ophiuchi
Orion	Orionis
Pegasus	Pegasi
Perseus	Persei
Pisces	Piscium
Piscis Australis	Piscis Australis
Sagittarius	Sagittarii
Scorpius	Scorpii
Serpens	Serpentis
Taurus	Tauri
Ursa Maior	Ursae Maioris
Ursa Minor	Ursae Minoris
Virgo	Virginis

En esta tabla se da una lista de las formas genitivas de algunos de los nombres de constelaciones (no se incluyen todas ellas, pero sí aquellas que tendremos ocasión de usar en este libro). Así pues, para dar ejemplos del sistema de Bayer, en la tabla 6 se repiten las estrellas ya mencionadas en la tabla 3, dando sus nombres en las dos formas. La única estrella de la tabla 3 que no aparece en la 6 es Alcor. Hay para ello una razón de la que nos ocuparemos en breve.

La mayoría de las estrellas de la tabla 6 son Alfas, lo cual no es realmente sorprendente. Eran las estrellas más brillantes de cada constelación las que tenían más probabilidades de atraer la atención y de recibir nombres, y como Bayer frecuentemente relacionó las estrellas por orden de brillo, fue generalmente la más brillante de todas la que recibió el nombre o designación de Alfa.

Tal vez al lector le parezca que el sistema de Bayer es innecesariamente complicado. ¿No es más fácil decir Spica que Alpha Virginis, o Polaris que Alpha Ursae Minoris?

Efectivamente lo es, pero el uso del sistema de Bayer nos dice automáticamente el lugar en que la estrella está. Nos dice que Spica está en Virgo, y Polaris en Ursa Minor. También nos dice algo más acerca de ellas. Nos informa de que cada una de ellas es la más brillante de su constelación.

TABLA 6.–*El sistema de Bayer*

	Sistema de Bayer	
Estrella	*Nombres*	*Símbolos*
Achernar	Alpha Eridani	α-Eridani
Alcyone	Eta Tauri	η-Tauri
Aldebaran	Alpha Tauri	α-Tauri
Algol	Beta Persei	β-Persei
Altair	Alpha Aquilae	α-Aquilae
Antares	Alpha Scorpii	α-Scorpii
Arcturus	Alpha Bootis	α-Bootis
Bellatrix	Gamma Orionis	γ-Orionis
Betelgeuse	Alpha Orionis	α-Orionis
Canopus	Alpha Carinae	α-Carinae
Capella	Alpha Aurigae	α-Aurigae
Castor	Alpha Geminorum	α-Geminorum
Deneb	Alpha Cygni	α-Cygni
Fomalhaut	Alpha Piscis Australi	α-Piscis Australi
Mira	Omicron Ceti	ο-Ceti
Mizar	Zeta Ursae Maioris	ζ-Ursae Maioris
Polaris	Alpha Ursae Minoris	α-Ursae Minoris
Pollux	Beta Geminorum	β-Geminorum
Procyon	Alpha Canis Minoris	α-Canis Minoris
Regulus	Alpha Leonis	α-Leonis
Rigel	Beta Orionis	β-Orionis
Sirius	Alpha Canis Maioris	α-Canis Maioris
Spica	Alpha Virginis	α-Virginis
Vega	Alpha Lyrae	α-Lyrae

Es más, el sistema de Bayer se puede emplear también para estrellas más débiles, estrellas que jamás recibieron nombre alguno de los griegos, los romanos ni los árabes. Podemos hablar de estas estrellas débiles e innominadas, que sean importantes o interesantes por una u otra razón, mencionándolas concretamente como Epsilon Eridani, Tau Ceti, Chi Orionis, Zeta Doradus, o Psi Aurigae.

(En este libro, sin embargo, cuando una estrella determinada tenga nombres alternativos, empleamos siempre el que sea más familiar. Así, aun cuando Beta Orionis es un nombre más formal que Rigel, la verdad es que casi todo el mundo –incluidos los astrónomos– habla siempre de ella dándole el nombre de Rigel.)

El mayor inconveniente del sistema de Bayer es que en el alfabeto griego sólo hay 24 letras, mientras que, por término medio, hay unas 70 estrellas visibles por constelación. Si quisiéramos atender a todas por el sistema de Bayer, tendríamos que empezar a usar combinaciones de letras, y la cosa llegaría a ser complicada.

Por otra parte, en 1609, sólo seis años después de que Bayer estableciese su sistema, Galileo Galilei (usualmente conocido sólo por su nombre de pila) ideó un telescopio que inmediatamente apuntó al firmamento. Rápidamente se hizo obvio que existía un número de estrellas mucho mayor que el de las que se podían ver a simple vista. ¿Cómo se las iba a denominar?

El astrónomo inglés John Flamsteed recurrió en 1712 a los números en lugar de las letras. En cada una de las 54 constelaciones que podía ver desde su laboratorio acechó el momento en que cada estrella llegaba a su punto más alto en el firmamento (al girar éste) y les asignó números en el orden de su paso por dicho punto.

Flamsteed aplicó su sistema de numeración a Cygnus, por ejemplo, y llamó “61 Cygni” a la estrella de dicha constelación que pasaba en el puesto 61 por ese punto de máxima elevación. Casualmente, ésta resultó ser una estrella interesante, que volveremos a mencionar más adelante en este libro. También la estrella Alcor, tan oscura que Bayer nunca pensó en atribuirle un nombre de letra griega (razón por la que no figura incluida en la tabla 6), recibió de Flamsteed un nombre numérico. Esta estrella es “80 Ursae Maioris”.

Otros ejemplos de estrellas denominadas según el sistema de Flamsteed son “70 Ophiuchi”, “107 Piscium”, “61 Virginis”, “55 Cancri” y “14 Herculis”. Tales nombres dicen al astrónomo no sólo la constelación en que está situada la estrella, sino incluso algo acerca de su emplazamiento dentro de la constelación.

Como es lógico, a medida que se fueron perfeccionando los telescopios se pudieron ir viendo en cada constelación estrellas por millares. Las estrellas poco brillantes vinieron a ser conocidas por sistemas complicados, que indicaban dónde se las podía encontrar en ciertos catálogos estelares, o por símbolos que indicaban su declinación exacta. Una estrella podía llamarse, por ejemplo, “Lacaille 9352” haciendo referencia a Nicolas Louis de Lacaille, que preparó un importante catálogo de estrellas en 1757, o “Ross 780”, o “CD-46° 11,909”.

Algunas veces puede darse a una estrella el nombre de su descubridor, como “la Estrella de Barnard”, del nombre del astrónomo norteamericano Edward Emerson Barnard. Aunque éste no descubrió realmente dicha estrella, fue el primero en darse cuenta de que la misma tenía una interesante propiedad que más tarde estudió en un libro. De ello dio noticia en 1916.

Actualmente, los astrónomos usan todos estos sistemas. Para las estrellas que tienen nombres corrientes, éstos son los que se emplean. Cuando tales nombres no existen, se denomina a las estrellas por el sistema de Bayer cuando son brillantes, a las débiles por el de Flamsteed, y a las muy débiles por el sistema de los catálogos.

Ahora podemos volver a las dos estrellas brillantes de la constelación de Centaurus, que los europeos observaron por primera vez en el siglo XV. Naturalmente, no había para ellas nombre griego ni latino, puesto que ningún europeo de la antigüedad había dado nunca noticia de ellas.

No cabe duda de que en alguna ocasión algún astrónomo árabe tuvo que llegar suficientemente lejos hacia el sur para verlas, porque la más brillante tiene un nombre árabe. Dado que aparece en la pata del Centauro, según la representación habitual de la constelación, la llamaron “Rigil Kentaurus”, de una frase árabe que significa “Pata del

Centauro”. Frecuentemente se hace referencia a ella como “Rigil Kent”, para abreviar. Sin embargo, este nombre no era familiar para los europeos y, prácticamente, nunca se usa, excepto en algunos libros de astronomía.

La tendencia natural era la de nombrarla por el sistema de Bayer, una vez que éste había sido inventado. La más brillante de las dos estrellas claras de Centaurus recibió, por consiguiente, el nombre de “Alpha Centauri”. Este es el nombre que se emplea casi universalmente, y que da título a este libro.

La segunda en brillo de las estrellas de Centaurus figura en algunos libros con el nombre de Agena o de Hadar, pero casi siempre se la menciona con el de Beta Centauri, como en este libro.

Las estrellas más brillantes

Ahora que ya sabemos la razón por la que Alpha Centauri es conocida con este nombre, veamos cómo es en comparación con otras.

Una de las primeras diferencias que se perciben entre las estrellas cuando se mira al cielo es que algunas son más brillantes que otras.

Alrededor del año 130 a. C., el astrónomo griego Hiparco dividió a las estrellas en seis clases o categorías de brillo, al as que en la actualidad denominamos “magnitudes”. Las estrellas más brillantes del cielo son de “primera magnitud”. Las que son un poco más oscuras o débiles, son de “segunda magnitud”; otras aún más débiles, de “tercera magnitud”; a continuación vienen las de cuarta y quinta, hasta que, finalmente, las estrellas más débiles que se pueden percibir a simple vista son de “sexta magnitud”.

Los primeros astrónomos contaron unas veinte estrellas entre las de primera magnitud. Desde entonces, otros astrónomos posteriores han añadido a la lista algunas otras estrellas de primera magnitud que los astrónomos antiguos nunca vieron. Por ejemplo, Alpha Centauri y Beta Centauri son ambas estrellas de primera magnitud que no figuran en ninguna de las listas antiguas. (Están casi tan próximas entre sí como Cástor y Póllux y, en conjunto, las dos estrellas brillantes de Centaurus brillan más que las dos principales de Gémini. Si los antiguos hubieran podido ver claramente a Centaurus, podrían haber aprovechado esto para formar la constelación de “los Gemelos”.)

Luego están también las dos estrellas más brillantes de Crux, que son de primera magnitud y que no fueron incluidas en las listas de los antiguos, puesto que no las veían. Estas dos estrellas son Alpha Crucis y Beta Crucis. Algunas veces, por abreviar se las llama Acrux y becrux, pero éstos no son nombres familiares, y en este libro utilizaremos para ellas los nombres de Bayer.

En la tabla 7 podrá encontrar el lector las veintidós estrellas que actualmente se consideran las de primera magnitud del cielo. Aparecen relacionadas en orden de declinación, de norte a sur.

TABLA 7.–*Estrellas de primera magnitud por orden de declinación*

Estrella	*Declinación (grados)*
Capella	+ 46,0
Deneb	+ 45,1

Vega	+ 38,7
Cástor	+ 32,0
Pollux	+ 28,2
Arcturus	+ 19,5
Aldebaran	+ 16,4
Regulus	+ 12,2
Altair	+ 8,7
Betelgeuse	+ 7,4
Procyon	+ 5,4
Rigel	– 8,3
Spica	– 10,9
Sirius	– 16,7
Antares	– 26,3
Fomalhaut	– 29,9
Canopus	– 52,7
Achernar	– 57,5
Beta Crucis	– 59,4
Beta Centauri	– 60,1
Alpha Centauri	**– 60,6**
Alpha Crucis	– 62,8

Las estrellas de primera magnitud se encuentran distribuidas por todo el firmamento de un modo bastante uniforme. Desde el polo norte sería posible ver las once que tienen declinaciones positivas, y desde el polo sur las once que tienen declinaciones negativas. Naturalmente, desde un punto situado en el ecuador podrían verse todas.

La estrella de primera magnitud situada más al norte, Capella, tiene una declinación de + 46,0°, de modo que se la puede ver desde cualquier punto que se halle al norte del paralelo 54° S. La única tierra habitada que queda al sur de este paralelo es el extremo más austral de Suramérica. La estrella de primera magnitud situada más al sur, Alpha Crucis, tiene una declinación de – 62,8°, lo cual significa que no puede ser vista desde ningún punto situado más al norte que la ciudad de Miami, Florida.

En consecuencia, desde las tierras habitadas de la Zona Tropical y de la Zona Templada Meridional podemos ver en el cielo las veintidós estrellas de primera magnitud. Hemos de llegar a la zona templada septentrional para empezar a perder alguna. Desde cualquier punto situado más al norte que la ciudad de Richmond, Virginia, es imposible ver las cinco estrellas de primera magnitud situadas más al sur..., y entre ellas figura Alpha Centauri.

Obsérvese que las veintidós estrellas de primera magnitud son de dieciocho constelaciones diferentes: otro indicio de lo bien distribuidas que están en el firmamento. Hay cuatro constelaciones (Gemini, Orión, Crux y Centaurus) que tienen dos estrellas de primera magnitud cada una; otras catorce constelaciones tienen una cada una; y quedan setenta constelaciones sin ninguna estrella de primera magnitud.

Esto no quiere decir que las constelaciones que no tienen estrellas de primera magnitud no puedan ser tan espectaculares como las otras. Ursa Maior, sin una sola estrella de primera magnitud y sin ninguna que sea conocida por un nombre propio, tiene siete estrellas dispuestas en la forma de un “cucharón” o de un “carro” grande y fácilmente

observable. Seis de estas estrellas son de segunda magnitud, y otra de tercera, y probablemente sea la combinación de estrellas que más fácilmente se reconoce en el firmamento.

Del mismo modo, la constelación de Cassiopeia, en la que no hay ninguna estrella de primera magnitud, tiene tres de segunda y dos de tercera que se hallan dispuestas formando una W perfectamente apreciable.

La estrella más famosa de todas es probablemente Polaris, emplazada a una declinación de + 89,0°, justamente a un grado del polo norte celeste. Está tan próxima a él y describe un círculo tan reducido a su alrededor, que apenas parece moverse en el firmamento. Serán incontables los millones de ojos que la han buscado como medio para determinar la dirección del norte, y, sin embargo, es sólo de segunda magnitud.

La Polar sirve también para marcar (aproximadamente) el emplazamiento del polo norte celeste, que es sólo un punto imaginario en el cielo. (El polo sur celeste no tiene en varios grados de distancia a su alrededor ninguna estrella de brillo superior al de la quinta magnitud.)

Por tanto, aunque este libro tienda a concentrarse en las estrellas de primera magnitud, porque Alpha Centauri es una de ellas, rogamos al lector que recuerde que tales estrellas no representan en absoluto la totalidad del firmamento.

El décimo objeto celeste en orden de brillo

Los primeros astrónomos tenían que apreciar a ojo la brillantez de las estrellas, cosa que no es fácil de hacer. Probablemente esa sea la razón por la que Bayer asignó al revés algunas de sus alfas y betas, y también el motivo de que al enfrentarse con un grupo de estrellas de brillo aproximadamente igual, como en el caso de las estrellas del Gran Carro, o la Osa Mayor (que es su nombre astronómico), no quisiese decidir entre ellas y se limitara a relacionarlas en orden desde un lado al otro, empezando por Alfa y terminando por Zeta.

En el siglo XIX, sin embargo, los astrónomos, usando ya telescopios y otros instrumentos adecuados a tal fin, pudieron comparar en forma muy exacta los brillos de las distintas estrellas. Resultó que algunas de las estrellas de primera magnitud tenían brillos considerablemente superiores a los de otras de la misma magnitud. Y también se comprobó que la estrella media de primera magnitud tenía un brillo unas cien veces mayor que el de la estrella media de sexta magnitud.

En 1850, un astrónomo inglés, Norman Robert Pogson, propuso definir con mayor exactitud la escala de magnitudes. Si la estrella media de primera magnitud es cien veces más brillante que la estrella media de sexta magnitud, y si descendemos en la lista de las magnitudes en cinco pasos o escalones iguales (1 a 2, 2 a 3, 3 a 4, 4 a 5 y 5 a 6), entonces podemos suponer que una estrella de una magnitud cualquiera es 2,512 veces más brillante que la estrella de la magnitud inmediatamente inferior. La razón de ello es que multiplicando cinco veces 2,512 por sí mismo (2,512*2,512*2,512*2,512*2,512) obtenemos como resultado aproximadamente cien.

Es posible calcular también qué cambio de brillo equivale a una décima de magnitud, e incluso a una centésima. Entonces, si se iguala el valor medio de la primera

magnitud a 1,00, es posible medir el brillo de cada estrella y hallar que una estrella determinada tiene una magnitud de 1,78, otra de 3,91, o de 5,09, y así sucesivamente.

Puesto que se ha tomado el valor de 1,00 como promedio de las estrellas de primera magnitud, aquellas cuyo brillo sea superior a la media han de tener valores de magnitud inferiores a 1,00. Una estrella de primera magnitud con brillo superior a la media puede tener una magnitud de 0,59, por ejemplo. Si una estrella tiene un brillo particularmente grande, la magnitud correspondiente puede ser incluso inferior a cero, obligando a los astrónomos a pasar a los números negativos.

Lo que no hay que olvidar es que cuanto más bajo sea el valor numérico de la magnitud, más brillante es la estrella, y que una magnitud negativa supone un brillo realmente grande. Sólo cuatro estrellas son tan brillantes que hayan de figurar con magnitudes negativas. En la tabla 8 se relacionan las veintidós estrellas de primera magnitud en orden de mayor a menor brillo.

TABLA 8.–*Estrellas de primera magnitud por orden de brillo*

Estrella	*Magnitud*
Sirius	– 1,42
Canopus	– 0,72
Alpha Centauri	**– 0,27**
Arcturus	– 0,06
Vega	0,04
Capella	0,05
Rigel	0,14
Procyon	0,38
Achernar	0,51
Beta Centauri	0,63
Altair	0,77
Betelgeuse	0,80
Aldebaran	0,86
Alpha Crucis	0,90
Spica	0,91
Antares	0,92
Pollux	1,16
Fomalhaut	1,19
Deneb	1,26
Beta Crucis	1,28
Regulus	1,36
Cástor	1,58

Puesto que cuatro de las constelaciones tienen dos estrellas de primera magnitud, cuatro de las estrellas de la tabla 8 son Betas: Beta Orionis (Rigel), Beta Geminorum (Pollux), Beta Centauri y Beta Crucis. Estas dos últimas son menos brillantes que Alpha Centauri y que Alpha Crucis, respectivamente; pero –cosa curiosa– las denominaciones de las dos primeras están equivocadas. Beta Orionis (Rigel) es más brillante que Alpha Orionis (Betelgeuse), y Beta Geminorum (Pollux) es más brillante que Alpha Geminourm (Cástor). Bayer, trabajando a ojo, probablemente no intentó distinguir la más brillante de la que lo era menos en los casos de Orión y Gemini, y erró en sus denominaciones.

Deben mencionarse algunas estrellas que, por poco, no han llegado a entrar en la lista de las de primera magnitud. La tercera en brillo de las estrellas de Crux, "Gamma Crucis", tiene una magnitud de 1,61, que está solo un poco por debajo del nivel de la primera magnitud. De las cuatro estrellas de la Cruz del Sur, dos son de primera magnitud, y otra no lo es por muy poco. Combinándolas con la pareja, muy igualada, de Alpha Centauri y Beta Centauri, que no se encuentran lejos de la Cruz, tenemos una colección de cinco estrellas cuyo brillo no tiene igual en ningún otro lugar del firmamento... y los habitantes del norte no las pueden ver.

Otra estrella que tiene un brillo (1,70) muy próximo al de la primera magnitud es Bellatrix, la tercera estrella de Orión. Si hubiera sido un poco más brillante, Orión habría tenido tres estrellas de primera magnitud (aunque no tan próximas entre sí como las tres de Crux).

La estrella más brillante de la Osa Mayor, Alioth (nombre derivado de una palabra árabe que significa "rabo de oveja", porque se encuentra en el rabo de la Osa Mayor, tal como se la suele representar), tiene una magnitud de 1,68, que tampoco está lejos del nivel de la primera magnitud.

La magnitud de la Polar es 2,12, y la de Mizar, 2,16. Alcyone, la estrella más brillante de las Pléyades, tiene una magnitud de 3,0, mientras que la de las estrellas más débiles del grupo es de alrededor de 5,4. Alcor tiene una magnitud de 4,0.

Volvamos, sin embargo, a Alpha Centauri. Como vemos en la tabla 8, es la tercera de brillo entre todas las estrellas del firmamento. Sólo Canopus y Sirius la aventajan. Canopus tiene un número de magnitud inferior en 0,45, lo que significa que es una vez y media más brillante que Alpha Centauri. Sirius, que es con mucho la estrella más brillante del cielo, tiene un número de magnitud 1,15 veces menor que Alpha Centauri, lo que quiere decir que es aproximadamente tres veces más brillante que ésta, y unas dos veces superior en brillo a la segunda estrella.

Sin embargo, hay en el cielo objetos que brillan aún más que las estrellas más brillantes. Los planetas, a diferencia de la mayoría de las estrellas, tienden a cambiar su grado de brillo a medida que describen sus órbitas en el cielo. No obstante, en su máximo brillo, cada uno de los planetas conocidos por los antiguos brilla más que Alpha Centauri. Y, por supuesto, lo mismo ocurre con la Luna y el Sol.

También algunos cometas tienen un brillo total mayor que el de Alpha Centauri, pero los cometas son tan distintos de los demás objetos celestes visibles a simple vista, y van y vienen en forma tan irregular, que es mejor no tenerlos en cuenta cuando se trata de hacer comparaciones. Tenemos también el caso, muy raro, de una oscura estrella que estalla y llega a alcanzar un brillo extraordinario, mucho mayor que el de Alpha Centauri, durante un breve período de tiempo. Se trata también de casos excepcionales, que se pueden omitir en las comparaciones.

Si nos limitamos a los objetos normales que se hallan siempre presentes en el cielo, podemos preparar la tabla 9, en la que se relacionan todos aquellos cuyo brillo es superior al de Alpha Centauri. Como puede verse, entre los moradores normales del firmamento terrestre, Alpha Centauri resulta ser el décimo por orden de brillo.

TABLA 9. –*Los objetos más brillantes del cielo*

Objeto	*Naturaleza*	*Magnitud (en el máximo)*	*Brillo (α–Centauri=1)*
Alpha Centauri	**Estrella**	**– 0,27**	**1**
Saturno	Planeta	– 0,4	1,13

Canopus	Estrella	– 0,72	1,5
Mercurio	Planeta	– 1,2	2,5
Sirius	Estrella	– 1,42	2,9
Júpiter	Planeta	– 2,5	7,1
Marte	Planeta	– 2,8	10
Venus	Planeta	– 4,3	40
Luna	Satélite	– 12,6	83.000
Sol	Sol	– 26,9	44.000.000.000

3. El problema de la distancia

El movimiento propio

Pero, ¿cuál es la razón de las diferencias de magnitud entre las estrellas? La opinión general, en los primeros tiempos, era que todas las estrellas se encontraban a la misma distancia de la Tierra; que todas formaban parte del firmamento (la "esfera celeste"), que era una esfera sólida que encerraba a la Tierra, el Sol, la Luna y los planetas. Nadie sabía a qué distancia de la Tierra estaba el firmamento, pero ello no afectaba para nada al argumento. Lo que se pensaba también era que las estrellas tenían tamaños diferentes, y que las más grandes eran más brillantes que las más pequeñas. (En efecto, "magnitud" viene a ser sinónimo de "tamaño".)

La causa de que los planetas fuesen más brillantes que las estrellas –según creía la gente desde los tiempos más remotos– era que aquellos se hallaban más próximos a la Tierra que el firmamento estrellado. Además, los planetas diferían entre sí en cuanto a brillo, y podría creerse que cuanto más próximo se hallaba un planeta, más brillante era éste.

Los antiguos juzgaban la distancia de los planetas por la velocidad con que éstos se movían entre las estrellas. Cuanto más rápido se movían, más próximos a nosotros tenían que estar. (Así nos lo dicta la experiencia: un avión que se desplace sobre nuestras cabezas y bastante próximo a nosotros parece pasar zumbando a gran velocidad, mientras que otro, a gran altura, parece cruzar el cielo muy lento, aun cuando en realidad pueda estar moviéndose más rápidamente que el primero. Esta reducción de la velocidad aparente con la distancia la observamos tanto en los automóviles como en las personas y en todas las cosas existentes sobre la Tierra, así que ¿por qué no en los planetas del cielo?

Tomando como criterio la velocidad del movimiento, los antiguos pensaban que el sistema planetario estaba dispuesto en la siguiente forma, en orden de distancias crecientes desde la Tierra: Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno.

El Sol es, sin comparación, el más brillante de estos objetos, aun cuando tres de ellos están más próximos, y es también, sin duda alguna, más grande que cualquiera de los restantes. Sólo la Luna rivaliza con él en cuanto a tamaño aparente, pero hay que tener en cuenta que está mucho más próxima que el Sol. Del mismo modo, Venus es más brillante que Mercurio, aunque se encuentra más lejos, y Júpiter es más brillante que Marte, aunque está a mayor distancia. Por consiguiente, Venus ha de ser más grande que Mercurio, y Júpiter más que Marte, y la conclusión es que, en los planetas, las diferencias de magnitud se deben tanto al tamaño como a la distancia.

Sin duda, tan pronto como se comprendió que el centro del sistema planetario estaba en el Sol, y no en la Tierra, se puso de manifiesto que la rapidez del movimiento no constituía una guía segura en lo referente a la distancia, porque le movimiento era alrededor del Sol, y no de la Tierra. Según las ideas modernas, el orden de las distancias a la Tierra es: Luna, Venus, Marte, Mercurio, Sol, Júpiter y Saturno. No obstante, esto no modifica la conclusión, puesto que Júpiter sigue siendo más brillante que Marte.

En el siglo XVII, después de la invención del telescopio, se apreció muy pronto que los planetas brillaban únicamente a causa de la luz solar que recibían y reflejaban; y cuanto más grandes eran, más luz recibían y reflejaban. Al final del siglo XVII ya se habían determinado los tamaños y las distancias de los planetas, y se había confirmado la noción original de que sus magnitudes dependían de estas dos características, distancia y tamaño.

Bueno, y entonces, ¿qué pasa con las estrellas?

Los planetas aumentan de tamaño cuando se los observa con el telescopio, y presentan el aspecto de pequeños círculos, elipses, crecientes, etc. esto no ocurre, sin embargo, con las estrellas. Las estrellas se hacen más brillantes al observarlas con el telescopio, pero continúan apareciendo tan pequeñas que parecen sólo puntos luminosos. De esto podría inferirse que las estrellas están mucho más lejanas de nosotros que los planetas y que son, por consiguiente, objetos tan pequeños que ni siquiera la ampliación proporcionada por el telescopio las hace aparecer suficientemente grandes para que su aspecto sea otro que el de simples puntos.

Si ello es así, no parece probable que las estrellas brillen, como los planetas, gracias a la luz del Sol que se refleje en ellas. Ya que se encuentran a una distancia mucho mayor, las estrellas no captarían suficiente luz solar para llegar a ser visibles. Por consiguiente, han de brillar con luz propia. El único cuerpo celeste del cual sabemos con seguridad que brilla con luz propia es el Sol. ¿Puede ocurrir, entonces, que las estrellas sean otros soles que parecen diminutos puntos de luz a causa de su gran distancia?

En realidad, ya en fecha tan remota como 1440, un erudito alemán, Nicolás de Cusa, había sugerido la idea de que las estrellas eran soles distantes; pero en sus tiempos esto era sólo una conjetura, y él carecía de cualquier prueba.

Claro está que aun cuando las estrellas fuesen otros soles y se hallasen muy lejanas, podría ser que se encontraran todas a la misma distancia y que las diferencias de brillo fuesen resultado únicamente de las diferencias de tamaño.

El primer astrónomo que realizó un descubrimiento que indicaba que la verdad era otra fue el inglés Edmund Halley. Halley estaba anotando cuidadosamente la posición de las estrellas y, en 1718, anunció que había descubierto que las estrellas Sirius, Procyon y Arcturus habían cambiado de posición con respecto a sus vecinas desde que los antiguos griegos registraran dichas posiciones. E incluso que habían cambiado ligeramente de posición con respecto a las registradas 150 años antes.

Era evidente que las estrellas no estaban fijas en el espacio, como habían creído los astrónomos antiguos. Tenían “movimientos propios”. (El movimiento es “propio” porque pertenece a la estrella propiamente dicha, y no al firmamento, que en épocas anteriores había parecido girar y arrastrar consigo a todas las estrellas.)

Pero no todas las estrellas poseen movimiento propio o, por lo menos, un movimiento suficientemente grande para poder medirlo. Los primeros movimientos propios que se observaron fueron los de estrellas muy brillantes. Sirius es la estrella más brillante del cielo, Arcturus la cuarta en orden de brillo, y Procyon la octava.

Supongamos que todas las estrellas se moviesen, pero que la rapidez con que lo hicieran dependiese (como ocurre con los planetas) de su proximidad a nosotros. Puesto que las estrellas estaban tan lejanas, todas se moverían lenta, muy lentamente, y sus cambios de posición sólo llegarían a ser apreciables al cabo de años y años. Sin embargo, el cambio llegaría a ser apreciable más pronto en el caso de las estrellas más próximas a nosotros; y en las más próximas de todas, el cambio sería más apreciable que en las demás.

Seguramente, no podía ser pura coincidencia que las primeras estrellas cuyo movimiento propio se había observado fuesen de las más brillantes. De hecho, todas las estrellas brillantes tenían movimiento propio (aunque algunas se movían más rápidamente que otras). Por otra parte, las estrellas débiles u oscuras, que constituían la mayoría de las del cielo, tenían movimientos propios muy pequeños, y en casi todas ellas eran tan ligeros que no era posible medirlos. (Lo cual significaba que se podían usar las estrellas débiles como puntos fijos de referencia para medir el movimiento propio de las estrellas brillantes.)

Puesto que las estrellas brillantes tenían movimientos propios apreciables y, por consiguiente, se podía pensar que estaban más próximas que las débiles u oscuras, también podría ser que fuesen brillantes *porque* estaban cercanas. Podría ocurrir que, en lugar de estar todas las estrellas a la misma distancia y de diferir en magnitud sólo a causa de sus diferencias de tamaño, fuesen todas del mismo tamaño, pero difiriesen en magnitud a causa de las diferencias de distancia.

Advirtamos que ni siquiera los movimientos propios suficientemente grandes para poder ser medidos son muy amplios. (Ni sería de esperar que lo fueran si las estrellas estuviesen a una distancia muchísimo mayor que la de los planetas, como parecía seguro.) Los movimientos propios son tan pequeños, que incluso los cambios más grandes de posición de una estrella en el curso de un año son del orden de segundos de arco. Y recordemos que un segundo de arco es 1/60 de un minuto de arco que, a su vez, es 1/60 de un grado.

Para dar una idea de la magnitud que representa un segundo de arco, diremos que el diámetro de la Luna llena es 1.865 segundos de arco, o 1.865”, por término medio. (El diámetro aparente de la luna varía ligeramente, porque ésta no describe un círculo perfecto en su traslación alrededor de la Tierra, y en algunas posiciones está un poco más próxima a nosotros que en otras.) Por tanto, un segundo de arco es 1/1.865 del diámetro medio de la Luna llena.

El movimiento propio de Sirius es 1.324” por año, lo que significa que a Sirius le llevará 1.400 años cambiar su posición en el cielo en una magnitud igual al diámetro de la Luna llena. Es un movimiento verdaderamente lento; pero, entre la fecha en que los griegos habían registrado la posición de Sirius y aquella en que Halley la verificó, habían transcurrido 1.700 años, y el cambio era de unos 2.250” o, aproximadamente, unos 5/8 de grado. Es un cambio que se notaría incluso a simple vista, cuanto más con un telescopio.

En la tabla 10 se dan los movimientos propios de las veinte estrellas más brillantes del cielo, expuestos por orden de mayor a menor.

TABLA 10. –*El movimiento propio de las estrellas más brillantes*

Estrellas	*Movimiento propio (segs. Arco)*	*Número de años para desplazarse el diámetro de la Luna*
Alpha Centauri	**3,682**	**506**
Arcturus	2,287	815
Sirius	1,324	1.410
Procyon	1.242	1.500
Altair	0,659	2.830
Pollux	0,623	2.990
Capella	0,437	4.270
Fomalhaut	0,367	5.080
Vega	0,348	5.360

Aldebaran	0,205	9.100
Achernar	0,093	20.100
Beta Crucis	0,054	34.500
Spica	0,051	36.600
Alpha Crucis	0,048	38.900
Beta Centauri	0,039	47.800
Betelgeuse	0,032	58.300
Antares	0,032	58.300
Canopus	0,022	84.800
Deneb	0,004	466.000
Rigel	0,003	622.000

Las estrellas más rápidas

Como se puede ver en la tabla 10, de las estrellas brillantes, la segunda, la tercera y la cuarta por orden de rapidez de movimiento son Arcturus, Sirius y Procyon, respectivamente; y éstas son aquellas cuyos movimientos propios observó en primer lugar Halley. ¿Por qué no observó el de la figura en primer lugar, Alpha Centauri? Porque Alpha Centauri ocupa una posición tan meridional en la esfera celeste que los griegos no habían hecho ninguna observación de su posición, lo que habría permitido a Halley comparar las observaciones modernas.

No obstante, las observaciones posteriores no tardaron en revelar el movimiento de Alpha Centauri, ya que cambiaba de posición tan rápidamente que fue posible descubrir su movimiento en un tiempo muy corto. El movimiento propio de Alpha Centauri es el más grande, con mucho, entre las estrellas brillantes; es 1,7 veces mayor que el de Sirius, que ocupa el segundo lugar. Si el grado de movimiento propio es una indicación de la proximidad de una estrella, parecería que Alpha Centauri puede ser la estrella brillante más próxima a la Tierra. Entonces, si el brillo constituye en sí mismo una indicación de proximidad, y sin ninguna estrella débil u oscura puede estar tan próxima a nosotros como una estrella brillante, pudiera ocurrir que Alpha Centauri sea la más próxima a nosotros de todas las estrellas.

Pero ¡alto ahí! No está probado que cualquier estrella débil u oscura haya de estar más lejana que cualquier estrella brillante.

Una vez que los astrónomos se percataron de la existencia de los movimientos propios, empezaron a comparar las posiciones de todas las estrellas con las registradas por los griegos, y también a comparar las posiciones ocupadas de un año a otro por estrellas débiles (que los griegos no habían podido ver o que, si las vieron, no se molestaron en señalarlas exactamente). Hallaron que, efectivamente, casi todas las estrellas oscuras carecían de movimiento propio apreciable pero que *algunas* estrellas oscuras, incluso algunas muy débiles, tenían un movimiento propio considerable.

El primer astrónomo que hizo un intento general de medir los movimientos propios fue un italiano, Giuseppe Piazzi. No sólo puso de manifiesto que las estrellas brillantes tenían generalmente movimientos propios detectables, sino que en 1814 comunicó que la

estrella débil 61 Cygni, que era sólo de quinta magnitud, tenía un rápido movimiento propio, que era casi una vez y media superior al de Alpha Centauri.

Y en 1916 Edward Emerson Barnard observó el movimiento propio, aún más rápido, de una estrella más débil que 61 Cygni, una estrella que, efectivamente, era de novena magnitud, y demasiado oscura para poder ser vista sin la ayuda del telescopio. Sin embargo, a pesar de su pequeña magnitud, su movimiento propio era casi doble del de 61 Cygni y casi triple que el de Alpha Centauri. Aunque muchos habían observado anteriormente esta estrella, fue Barnard el primero que indicó su movimiento propio y, por consiguiente, se la conoce, en su honor, por la "estrella de Barnard".

Tan rápido es el movimiento de la estrella de Barnard que algunas veces se la llama la "estrella fugitiva de Barnard" o la "flecha de Barnard". Su movimiento propio es tal que tardará 181 años en cambiar de posición el equivalente de un diámetro de la Luna; un movimiento muy lento si lo juzgamos con los criterios terrestres, pero realmente muy rápido si se aplican los estelares.

Entre las estrellas brillantes, sólo Alpha Centauri tiene un movimiento propio superior a 3" por año. Sin embargo, si incluimos también las estrellas débiles u oscuras, hallamos un buen número que superan esta marca. En la tabla 11 se da una lista de las estrellas cuyo movimiento propio es superior a 3" por año.

TABLA 11.–*El movimiento propio de las estrellas más rápidas*

Estrella	*Magnitud*	*Movimiento propio (segs. Arco)*	*Número de años para desplazarse el diámetro lunar*
Estrella de Barnard	9,67	10,30	181
Estrella de Kapteyn	8,8	8,76	213
Groombrige 1830	6,46	7,05	265
Cordoba 31353	7,44	6,90	270
Lacaille 9352	7,2	6,87	271
Cordoba 32416	8,3	6,11	305
Ross 619	12,5	5,40	345
61 Cygni	5,12	5,27	354
22H Camelopardalis	7,60	4,78	390
Epsilon Indi	4,74	4,70	397
BO 7899	8,9	4,52	413
Wolf 359	13,5	4,48	416
Omicron Eridani	4,48	4,08	457
Wolf 489	13	3,94	473
Mu Cassiopeiae	5,26	3,76	496
Alpha Centauri	**– 0,27**	**3,862**	**506**
OAs 14320	9,9	3,68	507
Luyten 726-8	12,5	3,35	557
Luyten 789-6	12,2	3,27	570
Phi Eridani	4,30	3,16	590
Estrella de Van Maanen	12,34	3,01	620

De las veintiuna estrellas relacionadas en la tabla 11, sólo una, Alpha Centauri, es de primera magnitud. Otras cinco son estrellas débiles, de cuarta y de quinta magnitud, que

poseen nombres según los sistemas de Bayer o de Flamsteed. Son, por orden decreciente de brillo: Phi Eridani, Omicron Eridani, Epsilon Indi, 61 Cygni y Mu Cassiopeiae. Las quince restantes son estrellas tan oscuras que sólo el telescopio las revela, y reciben sus nombres del primer astrónomo que registró su movimiento propio (o de algún otro hecho interesante relacionado con ellas), o de su número de inclusión en algún catálogo, o de alguna otra circunstancia.

Seis décadas después del descubrimiento de su movimiento propio, la estrella de Barnard sigue siendo la de movimiento más rápido que se conoce. No parece probable que ningún objeto de movimiento más rápido haya conseguido escapar a la atención de los astrónomos en todo este tiempo, pero cosas más raras han ocurrido y, si queda por hallar algo más rápido, todavía, podría ser algo realmente muy excitante, como veremos más adelante.

Si juzgamos únicamente por el movimiento propio, debemos convenir que la estrella de Barnard está más cerca de nosotros que Alpha Centauri; pero, en ese caso, ¿por qué habría de ser tan débil la estrella de Barnard, y tan brillante Alpha Centauri, es decir, la más lejana? Alpha Centauri, aunque más alejada si juzgamos por el movimiento propio, es 10.000 veces más brillante que la estrella de Barnard. La conclusión más fácil es que la estrella de Barnard, aunque muy próxima, es una estrella muy pequeña y oscura, cuyo débil centelleo apenas se puede captar con el telescopio, a pesar de estar tan cercana.

De ahí podemos ver que el mero brillo no constituye un criterio de distancia. Por término medio, las estrellas más brillantes están más próximas a nosotros que las oscuras, pero una determinada estrella oscura puede ser débil a causa principalmente de su pequeño tamaño, aunque podría estar más cerca que cualquier estrella brillante.

Además, tampoco podemos juzgar únicamente por el movimiento propio. Después de todo, no nos consta realmente que todas las estrellas se estén moviendo a la misma velocidad real. Sea cual fuere su verdadera velocidad, las estrellas muy distantes parecerán moverse más lentamente que aquellas que estén muy próximas. Por otra parte, si dos estrellas están aproximadamente a la misma distancia, la diferencia del movimiento propio puede ser resultado de diferencias en el movimiento real y no de diferencias de distancia.

Por ejemplo, puede ocurrir que la estrella de Barnard se mueva diez veces más rápidamente que Alpha Centauri. En tal caso, la estrella de Barnard tendrá un movimiento propio mayor que Alpha Centauri, aun cuando la primera pueda ser en cierto grado la más lejana de las dos.

Otra consideración es que mucho depende de la dirección del movimiento de la estrella. Después de todo, el movimiento propio que nosotros vemos representa sólo aquella parte del movimiento real que se produce en ángulo recto a nosotros. Supongamos que dos estrellas se están moviendo a la misma velocidad, pero que una de ellas lo hace directamente hacia nosotros, o alejándose de nosotros, mientras que la otra se mueve completamente perpendicular a nuestra línea visual. La estrella que se acerca o se aleja directamente no cambiará su posición con respecto a la de otras estrellas, sea cual fuere la velocidad a que se esté desplazando. Parecerá no tener movimiento propio alguno. La estrella que se mueve en ángulo recto con nuestra línea de visión exhibirá un movimiento propio, tal vez grande incluso, aun cuando no se esté desplazando a mayor velocidad que la estrella que no exhibe movimiento propio alguno. Si una estrella se estuviera moviendo en dirección oblicua, sólo aquella componente de su trayectoria que fuera perpendicular a nuestra línea de visión daría origen a un movimiento propio.

Podría ocurrir entonces que la estrella de Barnard se estuviera moviendo en forma bastante lenta, pero en una dirección completamente perpendicular a nuestra línea de visión, mientras que Alpha Centauri se moviera rápidamente, pero en una dirección general de acercamiento o de alejamiento de nosotros. En ese caso, Alpha Centauri podría aparecer con un movimiento propio menor, aun cuando estuviese más próxima a nosotros que la estrella de Barnard.

En realidad, ni el brillo, ni el movimiento propio, ni ambos en combinación, nos pueden decir a qué distancia se encuentra una estrella..., ni siquiera si una estrella dada está más cerca o más lejos que la otra. Todo lo que podemos decir es que, *en promedio*, las estrellas brillantes están más próximas a nosotros que las oscuras, y que, *en promedio*, las estrellas de movimiento propio rápido están más cercanas que las de movimiento propio lento.

Necesitamos algo mejor que esto.

Paralaje

Para determinar la distancia de algo a lo que no podemos llegar podemos hacer uso de lo que se conoce como “paralaje”, palabra derivada de vocablos griegos que significan “cambio de posición”. Este sistema no es nada moderno, puesto que ya los antiguos griegos lo conocían.

Podemos ver en qué consiste si levantamos un dedo frente a nuestros ojos con el brazo estirado. Si cerramos un ojo, veremos el dedo superpuesto a algún objeto del fondo. Si mantenemos el dedo inmóvil y cerramos el otro ojo, veremos que la posición aparente del dedo con respecto al fondo cambia.

Si ahora acercamos el dedo a la cara, veremos que el cambio de posición aparente del dedo que se produce al cerrar alternativamente un ojo y el otro se hace mayor. Midiendo el valor de este cambio de posición, es posible determinar la distancia que separa al dedo del ojo.

Usando los dos ojos alternativamente, no se pueden medir distancias muy grandes; como máximo, unos cuantos pies. Para los objetos demasiado alejados, el cambio de posición es tan pequeño que no es posible medirlo exactamente. Pero el cambio depende, no sólo de la distancia, sino también de la separación de los dos puntos desde los que se mira el objeto. Los ojos están separados sólo unos centímetros, y eso no constituye una línea de base muy buena.

Supongamos que plantamos dos estacas o jalones a dos metros de distancia entre sí. Si mirásemos un objeto, primero desde un jalón y luego desde el otro, aumentaríamos el valor de la paralaje para una distancia dada , y un objeto podría estar mucho más alejado antes de que la paralaje llegase a ser demasiado pequeña para medirla.

Nuestra línea de base podría ser mayor que la de dos metros..., muchísimo mayor.

Supongamos que se observa la Luna a una hora determinada a través de un telescopio situado en cierta posición sobre la superficie de la Tierra. Entonces se ve la Luna en cierta posición concreta sobre el fondo del firmamento estrellado. Si a la misma hora se la observa con un telescopio instalado en otro observatorio, parecerá encontrarse en una posición un tanto diferente. Conociendo el valor exacto del cambio de posición, en

fracciones de grado, y la distancia exacta entre los dos telescopios, es posible calcular la distancia de la Luna por medio de la rama de las matemáticas conocida como trigonometría.

En el caso de la Luna, la paralaje, aunque no sea muy grande, es todavía suficiente para medir, no sólo con un telescopio, sino incluso a simple vista. Quiere decirse que incluso los astrónomos antiguos pudieron medirla y hacerse una idea bastante buena de la distancia a la que está la Luna. Como es lógico, los astrónomos modernos han conseguido utilizar esta técnica con mayor precisión, y el resultado es que la distancia media de la Tierra a la Luna es de 384.000 kilómetros.

Juzgando por criterios terrestres, es una gran distancia (veinticinco veces la distancia de vuelo de Nueva York a Melbourne, Australia), pero es muy pequeña si la comparamos con las distancias de otros cuerpos celestes. Ningún otro cuerpo celeste que no sea la Luna tiene una paralaje suficientemente grande para poder medirla sin telescopio. (El telescopio amplifica o agranda los cambios muy pequeños de posición, y hace posible la medición de los mismos.)

Hasta finales del siglo XVII, tras la invención del telescopio, no fue posible medir la paralaje de Marte, que está mucho más distante que la Luna y tiene, por tanto, una paralaje mucho más pequeña. Una vez que se consiguió esto, se pudo determinar su distancia, así como las distancias entre otros cuerpos celestes.

Por ejemplo, hoy se sabe que la distancia desde la Tierra al Sol es 150.000.000 de kilómetros, lo que representa 390 veces la distancia de la Tierra a la Luna.

El planeta más lejano que se conocía antes de 1781 era Saturno, y su distancia media al Sol es 1.425.000.000 de kilómetros. El planeta más lejano que se conoce actualmente es Plutón, y su distancia media al Sol es 5.900.000.000 de kilómetros.

Supongamos que tomamos como anchura del sistema solar el diámetro o eje de la órbita de Plutón. Ello supone 11.800.000.000 de kilómetros.

No es fácil visualizar o concebir estas distancias de miles de millones de kilómetros, pero es que el kilómetro es una unidad de medida hecha a la conveniencia de las distancias terráqueas. Para medir distancias en el sistema solar sería más fácil adoptar como unidad de medida la distancia de la Tierra al Sol. De hecho, la distancia de la Tierra al Sol se llama "unidad astronómica" (U.A.).

Puesto que la distancia de Saturno al Sol es, por término medio, 9,83 veces mayor que la de la Tierra al Sol, decimos que Saturno está a 9,83 U.A. del Sol. En la misma forma, la órbita de Plutón tiene un diámetro de 79 U.A.

Podría parecer, sin embargo, que la utilidad de la paralaje está limitada al sistema solar. Si los observatorios se sitúan a la mayor distancia posible entre sí sobre la superficie de la Tierra, la paralaje de la Luna es de unos 2°. La paralaje de Marte, sin embargo, es de sólo unos 30" como máximo, es decir, 1/40 de la lunar. La paralaje de Marte, aunque demasiado pequeña para poder ser medida a simple vista, se puede medir fácilmente con ayuda del telescopio, y a partir de ella se pueden calcular todas las demás distancias dentro del sistema solar.

Pero ¿qué ocurre con las estrellas? Incluso las más próximas han de hallarse a una distancia tan superior a la de Marte que, aun desde los observatorios más separados en la superficie terrestre, su paralaje ha de ser tan diminuta que ningún telescopio de los que hemos construido o que tengamos probabilidades de construir en un futuro previsible podría medirla.

¿Estamos seguros de ello? ¿Podemos verdaderamente ser tan pesimistas si, para empezar no sabemos a que distancia están las estrellas? ¿Existe algún método que nos permita, al menos, hacernos alguna idea de esa distancia sin usar la paralaje?

La primera persona que intentó hacerlo en una forma lógica fue Halley, el astrónomo que había sido el primero en descubrir el movimiento propio de las estrellas. Habiendo comprendido que éstas se movían independientemente, y que podrían ser soles distantes, se preguntó: Supongamos que Sirius fuese realmente tan brillante como el Sol, ¿a qué distancia ha de estar para aparecer como una chispa de luz no más intensa que la que vemos?

El brillo de un objeto como el Sol decrece con la distancia según una fórmula que era bien conocida incluso en los tiempos de Halley, de modo que el problema se pudo resolver fácilmente. Halley decidió que Sirius tendría que estar a unos 19.000.000.000.000 de kilómetros de distancia. Esta distancia es enorme, miles de veces mayor que las distancias internas del sistema solar. Según los cálculos de Halley, la distancia de Sirius sería más de 21.000 veces mayor que la de Saturno, el planeta más lejano que se conocía en su tiempo. Y sería 1.600 veces mayor que el ancho de la órbita de Plutón. La distancia de Sirius, según el cálculo de Halley, es tan grande que no sirve de mucho emplear unidades astronómicas para expresarla. De acuerdo con su cálculo, Sirius se halla a unas 204.000 U.A.

¿Hay alguna unidad más razonable que pudiéramos aplicar? Actualmente, los astrónomos usan para estos fines la velocidad de la luz. La primera determinación razonable de la velocidad de la luz se obtuvo en 1676, gracias a los trabajos de un astrónomo danés, Olaus Roemer. Su medición original no fue muy exacta, pero se ha mejorado grandemente en los tres siglos transcurridos desde entonces; hoy sabemos que un rayo de luz en el vacío, recorre 299.792,4562 kilómetros en un segundo. Nos aproximaremos suficientemente si decimos que la velocidad de la luz es de unos 300.000 kilómetros por segundo. La velocidad de la luz es mucho mayor que cualquiera de las velocidades que conocemos. Pensamos que un avión se está moviendo rápidamente si va a 3.000 kilómetros por hora, o un cohete, si va a 60.000 kilómetros por hora, o la Tierra, porque en su viaje alrededor del Sol se desplaza a razón de 107.000 kilómetros por hora... pero incluso la Tierra se mueve a sólo 1/100.000 de la velocidad de la luz.

Lo cierto es que ningún objeto material puede viajar a una velocidad superior a la de la luz. La luz viaja a la velocidad límite de nuestro universo. Por lo tanto, si usamos la velocidad de la luz como unidad para medir grandes distancias, estaremos haciendo prácticamente lo más que podemos.

Tan rápida es la luz, que va de aquí a la Luna en aproximadamente 1,25 segundos, al Sol en 8,3 minutos, y atraviesa toda la anchura del sistema solar en once horas.

Pero imaginemos a la luz viajando a su enorme velocidad durante todo un año. ¿Qué distancia recorrerá? La respuesta es 9.460.600.000.000 kilómetros. A esta distancia se la llama, por consiguiente, un “año-luz”. Sirius, según los cálculos de Halley, estaría por tanto a dos años-luz.

Esa cifra dependería, como es natural, de si realmente Sirius es tan brillante como el Sol, conforme supuso Halley. Si fuera menos brillante que el Sol, tendría que estar a menos de dos años-luz para presentar el brillo con que se nos aparece; y si fuera más brillante que el Sol, tendría que estar más lejos.

Aun contando con el hecho de que Sirius puede no ser tan brillante como el Sol, y que Halley no tuviera, de entrada, una noción muy exacta de la distancia del Sol a la Tierra,

de modo que sus cálculos pudieran estar bastante errados, parece lícito suponer que aun las estrellas más cercanas se hallan a distancias de años-luz. En tal caso, la paralaje de las estrellas, vistas desde diferentes observatorios en la superficie de la Tierra, podría tal vez no exceder de 1/10.000 de segundo de arco, un valor tan pequeño que su medición es absolutamente imposible.

Por otra parte, la Tierra se desplaza alrededor del Sol siguiendo una órbita cuya anchura total es de 300.000.000 de kilómetros, es decir, más de 23.000 veces el diámetro de la Tierra. Con una línea de base tan enormemente ampliada, la paralaje de un objeto situado a una distancia determinada se alargaría también en la misma proporción.

Ni siquiera esto hizo que el problema fuese sencillo. La paralaje ampliada no sería superior a un segundo de arco, o un valor similar, en el mejor de los casos, para objetos situados a distancias de años-luz. Este cambio podría verse enmascarado por el mayor desplazamiento de posición debido al movimiento propio, o por algunos otros minúsculos cambios de posición de las estrellas, debidos a razones que no tengan nada que ver con la paralaje.

Más de un siglo había transcurrido desde la estimación realizada por Halley e, incluso al comienzo de la década de 1830, los astrónomos seguían siendo incapaces de medir la paralaje de ninguna estrella (o “paralaje estelar”, como también se la llamaba).

Estrellas dobles

Un importante intento de determinar la distancia de las estrellas más próximas terminó en fracaso, pero produjo importantes resultados en conexión con la noción de las “estrellas dobles”.

Cualquiera que mire a las estrellas a simple vista las ve como chispas individuales de luz, que no están distribuidas uniformemente por todo el cielo. Algunas estrellas resultan estar bastante cercanas entre sí, y cuando ello ocurre, generalmente atraen la atención. Las Pléyades son un caso de seis o siete estrellas bastante débiles, situadas bastante cercanas entre sí. Otro caso es el de Mizar y Alcor.

Mizar y Alcor eran el ejemplo más patente de estrella doble conocido por los antiguos, que solo podían utilizar su vista, sin ayuda alguna. Un punto interesante residía en la diferencia de luminosidad de las dos estrellas. La magnitud de Mizar (2,2) hace que ésta sea cinco veces más brillante que Alcor, cuya magnitud es 4,0.

El brillo de Mizar tiende a oscurecer o enmascarar a Alcor, y hace que sea difícil de ver a esta última. Es más, algunos pueblos antiguos usaban las dos estrellas como prueba de agudeza visual, porque hacía falta una vista muy buena para distinguir a la estrella más débil dentro del resplandor de la más brillante.

Desde el momento en que los astrónomos empezaron a usar el telescopio, era prácticamente imposible que Mizar y Alcor siguieran siendo el ejemplo más notable de estrellas dobles. Puesto que el telescopio revela muchas más estrellas de las que se pueden ver a simple vista, esas estrellas han de estar, en promedio, más próximas entre sí, y ha de haber muchos más casos de estrellas dobles. Efectivamente, parecía inevitable que el telescopio revelara pares de estrellas débiles tan cercanas entre sí que hubieran parecido una sola de contemplarlas a simple vista.

Al mismo tiempo se vio también que estrellas brillantes y bien conocidas, que se *veían* como chispas de luz individuales, resultaban ser dos o más estrellas muy poco espaciadas al observarlas con el telescopio.

El primero de estos casos fue descubierto en 1650 por el astrónomo italiano Giovanni Battista Riccioli. Observando a Mizar en su telescopio, descubrió que estaba formada por dos estrellas separadas solamente unos cuantos segundos de arco. (En este momento, están separadas 14,3”.) Ningún ojo humano, sin la ayuda del telescopio, habría podido distinguir dos estrellas tan juntas. Mizar no es solamente una “estrella doble visual” gracias a su proximidad a Alcor; es también una “estrella doble telescópica”, la primera que se descubrió.

Se hallaron otros ejemplos de este tipo, y para 1784 se habían preparado catálogos conteniendo ochenta y nueve ejemplos de estas estrellas dobles telescópicas. En esta lista estaba incluida Alpha Centauri, descubierta como doble estrella por Lacaille en la década de 1750, con las dos estrellas distanciadas menos de 22”.

Se ha hecho costumbre denominar a las dos estrellas de una doble telescópica con las letras “A” y “B”, reservando la A para la más brillante de las dos. Así, la estrella que conocemos como Alpha Centauri es, en realidad, Alpha Centauri A y Alpha Centauri B.

Por entonces, sin embargo, el descubrimiento de los movimientos propios puso de manifiesto que las estrellas se hallaban a diferentes distancias. Por esa razón, estaba claro que la proximidad contra el fondo del firmamento no significaba necesariamente proximidad real. Los astrónomos decidieron que lo que parecían ser estrellas dobles eran en realidad estrellas sencillas que estaban muy separadas pero que, casualmente, se hallaban en la misma dirección al mirarlas desde la Tierra. Y se suponía que la más débil u oscura de las dos era la más lejana.

De ser así, una estrella doble ofrecía un medio bastante conveniente para la medición de la paralaje estelar. La más oscura de la pareja tenía que hallarse tan lejos que su paralaje tendría que ser demasiado pequeña para ser descubierta, incluso empleando el gran desplazamiento de la Tierra alrededor del Sol. Por consiguiente, se podría considerar que su posición era fija, y se la podría tomar como referencia inmóvil para la otra estrella, que era más brillante y, por lo tanto, más próxima, y que, por consiguiente, podría exhibir una pequeña paralaje.

En tal caso, ¿por qué no observar una estrella doble mes tras mes, midiendo la pequeña distancia entre las dos estrellas y anotando la forma en que pudieran cambiar muy ligeramente? Si la estrella más brillante exhibía paralaje, la distancia cambiaría en forma muy definida en el transcurso de un año. No habría miedo de pasarlo por alto.

En la década de 1780, el astrónomo germano-inglés William Herschel emprendió esta tarea. Exploró el cielo en busca de estrellas dobles útiles a este fin, y consiguió un éxito realmente inesperado. Empezó a parecerle que había demasiadas.

Si se distribuyese en forma aleatoria sobre todo el firmamento el número de estrellas existentes hasta una determinada magnitud de brillo, habría cierta probabilidad de que una pareja particular de estrellas estuviesen muy próximas entre sí; una probabilidad menor de que estuviesen todavía más próximas, y así sucesivamente. La forma de calcular estas cosas era bien conocida, y resultó que el número de estrellas dobles era mucho mayor de lo que se podía atribuir al puro azar.

Podría ser, pues, que las estrellas no estuviesen distribuidas en forma aleatoria, después de todo; que algunas veces estuvieran juntas por alguna razón concreta. Herschel estudió un número considerable de estrellas dobles, y halló que la distancia entre ellas solía

ser cambiante, pero no en la forma que uno pudiera esperar al observar la paralaje. En lugar de ello, parecía que la estrella más oscura se movía en una forma tal que parecía estarse desplazando en una órbita alrededor de la más brillante...de un modo muy parecido al de un planeta que se desplaza alrededor de su sol.

Para 1802, Herschel estaba convencido de que había muchas estrellas dobles *reales*, y no sólo estrellas que parecían próximas por encontrarse en la misma dirección desde la Tierra. Estas estrellas dobles reales se llaman usualmente "estrellas binarias", nombre derivado de una palabra latina que significa "en pares".

Tales binarias no son raras en modo alguno. Hoy se conocen por millares. De cada centenar de estrellas razonablemente brillantes tomadas al azar, es probable que cinco o seis resulten ser binarias al observarlas telescópicamente. En algunos casos, las estrellas pueden parecer sencillas aun vistas con el telescopio, pero hay otras formas en que se puede demostrar que son dobles.

Entre las estrellas de primera magnitud, Sirius, Capella, Procyon, Alpha Crucis, Castor, Spica y Antares son binarias. Lo que es más importante para nosotros en este libro es que Alpha Centauri no es simplemente una estrella doble: es también una binaria.

Aunque el descubrimiento de las estrellas binarias realizado por Herschel tuvo una importancia astronómica de primer orden, no resolvió el problema de la distancia de las estrellas. No obstante, ofreció un método más para juzgar qué estrellas podrían estar más próximas que otras.

Supóngase, por ejemplo, que todas las binarias estuvieran formadas por parejas separadas por la misma distancia en kilómetros. En tal caso, cuanto más lejana de nosotros se encuentre una binaria, menos separada aparece la pareja. (Se trata del mismo truco de perspectiva que hace que los raíles del tren parezcan acercarse entre sí cuando los seguimos con la vista hasta cierta distancia.)

Esto, desde luego, no es una medida cierta de la distancia, porque no tenemos ninguna garantía de que las binarias estén siempre formadas por parejas de estrellas separadas por una distancia fija. Algunas binarias pueden parecer separadas por un espacio bastante grande porque en realidad la pareja esté más separada de lo normal; o podrían aparecer bastante juntas porque la distancia entre las estrellas sea realmente inferior a la media.

Aun así, el grado de separación puede decirnos algo. En la tabla 12 se muestra la distancia entre las estrellas emparejadas de ciertas binarias. (Las cifras dadas en la tabla pueden ser un poquito engañosas. Como las estrellas emparejadas se mueven una alrededor de la otra, algunas veces pueden estar más próximas que en otros momentos. La cifra exacta depende del tiempo en que se haga la medición; sin embargo, las cifras de la tabla 12 nos dan la idea general.)

TABLA 12 .–*Separación de binarias*

Binaria	*Separación de las estrellas (segundos de arco)*
Delta Cephei	41,0
Beta Cygni	34,5
Eta Persei	28,0
Theta Serpentis	22,2
Alpha Canum Venaticorum	19,8
Mizar	14,3
Gamma Delphini	10,4

Alpha Centauri	**9,9**
Gamma Andromedae	9,8
Eta Cassiopeae	9,6
Rigel	9,5
Gamma Arietis	8,0
Sirius	7,6
70 Ophiuchi	6,0
Gamma Virginis	5,5
Alpha Vía	4,7
Alpha Herculis	4,7
Gamma Leonis	3,9
Delta Serpentis	3,7
Antares	2,9
Epsilon Bootis	2,8
Epsilon Aurigae	2,8
Zeta Aquarii	2,3
Alpha Piscium	2,2
Castor	2,1

Existe todavía otro método para juzgar la proximidad de algunas estrellas binarias en comparación con otras. Es necesario cierto tiempo para que una estrella describa su giro alrededor de la compañera. Si las estrellas binarias fuesen todas del mismo tamaño, podríamos decir que cuanto más separadas estuvieran las componentes de una pareja, más tiempo tardaría en describir su órbita una alrededor de otra. Por una parte, tendrían que describir un círculo más grande, y por otra, girarían más lentamente, porque la atracción gravitatoria entre las estrellas se debilitan con la distancia, y es la fuerza de esta atracción la que impone la velocidad con que un objeto se desplaza en su órbita.

Supongamos que una pareja binaria que parece bastante separada emplea un tiempo largo en completar el círculo orbital. En tal caso, se hallan realmente muy separadas.

Si una pareja binaria que parece muy separada emplea un tiempo *corto* en completar el círculo orbital, entonces no se hallan realmente muy separadas, sino que simplemente parecen estarlo porque están próximas a nosotros. En la tabla 13 damos el período orbital (el tiempo que tardan las estrellas en completar su órbita, cada una alrededor de la otra), correspondiente a algunas de las estrellas de la tabla 12.

TABLA 13 .–*Períodos orbitales de algunas binarias*

Binaria	*Período orbital (años)*
Eta Cassiopeiae	400,9
Gamma Virginis	171,4
70 Ophiuchi	87,85
Alpha Centauri	**80,09**
Sirius	49,94

Eta Cassiopeiae tiene una separación aparente muy similar a la de Alpha Centauri, como se puede ver en la tabla 12. Sin embargo, la pareja de Eta Cassiopeiae tiene un período orbital cinco veces más grande que el de Alpha Centauri, como se puede ver en la

tabla 13. Basándonos en esto, podemos argumentar que las dos estrellas de Eta Cassiopeiae están, en realidad, mucho más separadas que las de Alpha Centauri. Luego podríamos pasar a deducir que la separación de las dos estrellas de Alpha Centauri parece ser tan grande como la de las de Eta Cassiopeiae sólo porque Alpha Centauri está mucho más cerca de nosotros.

Otro ejemplo: Gamma Virginis y 70 Ophiuchi tienen separaciones menores que las de Alpha Centauri y Sirius y, sin embargo, sus períodos son mayores. Por consiguiente, Gamma Virginis y 70 Ophiuchi podrían estar más alejadas de nosotros que Alpha Centauri y Sirius.

Tampoco esta cuestión del período orbital es completamente convincente. Dos estrellas pueden estar muy separadas y, sin embargo, tener un período corto porque sean estrellas grandes y de mucha masa. Las estrellas de gran masa poseen campos gravitatorios muy fuertes, que pueden impulsar a los objetos celestes en sus órbitas a velocidades inusitadamente altas.

Sin embargo, aunque cada indicio nos ofrece alguna información con cierta incertidumbre, cuantos más de estos indicios se acumulan, más se reducirá dicha incertidumbre. Alpha Centauri y Sirius son ambas estrellas brillantes, las dos tienen movimientos propios grandes, las dos tienen separaciones bastante amplias entre sus parejas de estrellas componentes y, sin embargo, ambas tienen períodos orbitales bastante cortos.

Agregando todos estos indicios, podemos tener una seguridad razonable de que Alpha Centauri y Sirius tienen que estar entre las estrellas más próximas a nosotros... a pesar de lo cual, nada que no sea la obtención efectiva de su paralaje podrá demostrarlo. Sin embargo, antes de pasar a esa cuestión, vamos a echar otro vistazo a las binarias.

En algunos casos, el hecho de que una estrella sea binaria no afecta mucho a nuestra idea de la intensidad de la más brillante de sus componentes. Si una de las estrellas de la pareja es mucho más oscura que la otra, la más brillante de las dos estará aportando prácticamente todo el brillo, y su magnitud individual es aproximadamente igual a la magnitud combinada de las dos.

Consideremos el caso de Sirius, por ejemplo. La estrella más oscura de la pareja, Sirius B, tiene una magnitud de 8,4 y es demasiado débil para que sea posible verla a simple vista. Su existencia apenas altera el brillo de la estrella que vemos. Es la compañera más luminosa, Sirius A, la que cuenta a este respecto. Sin ninguna aportación de su compañera oscura, ella es por sí sola la estrella más brillante del firmamento. Procyon es otra estrella en la que la más brillante de la pareja, Procyon A, aporta prácticamente todo el brillo de las dos, ya que su compañera, Procyon B, tiene una magnitud de 10,8.

También es posible, sin embargo, que las dos estrellas de una binaria tengan brillos aproximadamente iguales. En ese caso, la estrella, tal como la vemos, es considerablemente más brillante de lo que sería cada miembro de la pareja por separado.

Alpha Crucis, por ejemplo, tiene una magnitud de 0,90, lo que la hace ser una destacada estrella de primera magnitud. De sus dos componentes, sin embargo, la más brillante, Alpha Crucis A, con una magnitud de 1,4, es una estrella de primera magnitud próxima al límite, mientras que Alpha Crucis B, con una magnitud de 1,9, es una estrella de segunda magnitud.

Alpha Centauri queda incluida dentro de la segunda clase. Sus componentes tienen brillos comparables. Aunque Alpha Centauri, tomando las dos estrellas conjuntamente,

tiene una magnitud de - 0,27, la más brillante de la pareja, Alpha Centauri A tiene una magnitud de 0,4, mientras que Alpha Centauri B tiene una magnitud de 1,6.

4. Distancia y luminosidad

La estrella más próxima

Aunque Herschel había fracasado en su intento de determinar la paralaje estelar por el método de las estrellas dobles, prosiguieron los esfuerzos en la misma dirección por otros métodos. Los telescopios y otros instrumentos se perfeccionaban constantemente, de modo que se podían detectar con precisión cambios cada vez menores en la posición de las estrellas. En la década de 1830, tres astrónomos atacaron el problema en un enérgico esfuerzo por conseguir la solución, y cada uno de ellos escogió una estrella diferente.

El astrónomo germano-ruso Friedrich Georg Wilhelm von Struve decidió usar el brillo como criterio de la proximidad o cercanía. Su observatorio se hallaba en las costas del mar Báltico, a 59,2°N., por lo que las únicas estrellas brillantes que aparecían bien altas en el cielo eran las que tenían una declinación positiva grande. Por consiguiente, eligió la más septentrional de las cinco estrellas más brillantes, Vega, y se concentró en tratar de descubrir su diminuto cambio de posición en el firmamento (con respecto a estrellas débiles e inmediatas a ella), al desplazarse la Tierra en su órbita alrededor del Sol.

El astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel adoptó como criterio indicativo de la cercanía la rapidez del movimiento propio. Por lo tanto, se concentró en 61 Cygni, la estrella de movimiento más rápido que se conocía en su tiempo, y comparó, de un día a otro y de un mes al siguiente, la posición de aquélla con respecto a las de dos débiles estrellas próximas a ella que no tenían movimiento propio apreciable. Supuso que estas dos estrellas vecinas estaban muy lejanas, y que no exhibirían paralaje alguna.

El astrónomo escocés Thomas Henderson se decidió por una combinación de prometedoras propiedades. Estaba trabajando en un observatorio en el Cabo de Buena Esperanza, cerca del extremo austral de África, y desde allí gozaba de excelente visión de una estrella muy meridional, Alpha Centauri. Teniendo presentes el brillo de esta gran estrella, su gran movimiento propio y el corto período de las dos estrellas que la componen, decidió concentrarse en ella.

Pues bien, los tres astrónomos consiguieron por fin detectar la paralaje estelar. De los tres, Henderson fue el primero en completar el trabajo, pero no se paró a analizar sus observaciones y calcular la paralaje (tarea larga y tediosa en aquellos tiempos en que no existían las calculadoras) hasta después de haber terminado su misión en El Cabo y haber regresado a Escocia. Evidentemente, no podía tener noticia de que otros dos astrónomos le iban pisando los talones.

Gracias a este retraso de Henderson, Bessel tuvo tiempo para analizar sus propias observaciones y anunciar los resultados de las mismas en 1838. Fue el primero de los tres que proclamó su logro, y en la ciencia el que primero comunica un descubrimiento es el que recibe el crédito del mismo. Por consiguiente, se considera a Bessel como la primera persona que determinó la distancia de una estrella.

La paralaje estelar se mide como la máxima separación de una estrella con respecto a su posición media a lo largo del año, y se da en segundos de arco. Por ejemplo, Bessel halló que 61 Cygni describía en el firmamento una minúscula elipse a medida que la Tierra

cambiaba de posición en su órbita alrededor del Sol, y que la distancia máxima de dicha elipse desde su centro era 0,3". Esta es la paralaje estelar de 61 Cygni. (Realmente, la medición más perfecta de su paralaje, tal como la conocemos hoy, es 0,293".

Conociendo la paralaje de 61 Cygni y la anchura de la órbita de la Tierra, es posible calcular la distancia de 61 Cygni, que resulta ser 11,1 años-luz. Esto equivale a unos 106 billones de kilómetros o, aproximadamente, 700.000 U.A.

Otra unidad que se emplea algunas veces para medir la distancia de una estrella es el "parsec". Es la distancia a la cual una estrella tendría una paralaje de exactamente 1" segundo de arco, y la palabra es una contracción de "parallax-second" (segundo de paralaje). Para tener un paralaje de 1", una estrella tendrá que estar a una distancia de 3,258 años-luz, lo que equivale a unos 31 billones de kilómetros, o 204.000 U.A.

Podemos decir que 61 Cygni, que está a 11,1 años luz de nosotros, se encuentra a una distancia de 3,42 parsecs.

Henderson halló que la paralaje de Alpha Centauri era mayor que la de 61 Cygni. El valor más exacto que tenemos hoy es 0,756", lo que significa que Alpha Centauri está a 4,40 años luz, o 1,35 parsecs, de nosotros.

De las tres estrellas cuyas paralajes se determinaron primero, Vega, que fue la tercera, es la más brillante. Actualmente se cree que está a 27 años-luz de distancia, unos 8,3 parsecs.

Desde 1838 se han medido ya las distancias de veintenas de estrellas por el método de la paralaje, pero (con una excepción parcial, a la que en breve llegaremos) ninguna ha resultado estar más próxima a nuestro Sol y a sus planetas que Alpha Centauri. Esta es, entre las estrellas, nuestra vecina más próxima en el espacio. Lo cual significa que (por lo que sabemos) no hay ninguna estrella cuya paralaje sea mayor que 1", ni ninguna que se halle a menos de 1 parsec de distancia de nosotros.

Cuando decimos que Alpha Centauri es la estrella más próxima, no hemos de olvidar que empleamos ese nombre para designar un sistema binario. En realidad, se trata de dos estrellas individuales, Alpha Centauri A y Alpha Centauri B. Ambas, a medida que giran una alrededor de la otra, se sitúan alternativamente un poco más próximas a nosotros. Sin embargo, esta diferencia en su distancia es tan reducida, y sus cambios de posición son tan frecuentes al girar, que se hace caso omiso de ello, y nunca se distingue entre Alpha Centauri A y Alpha Centauri B al hablar o pensar en la estrella más próxima. Se repartirían este honor entre las dos, si no fuera por una cosa.

Resulta que Alpha Centauri tiene una tercera componente. Es una estrella "ternaria", palabra que procede de la latina correspondiente a "tres". En 1913, Robert Innes, astrónomo inglés que trabajaba en Sudáfrica, descubrió una estrella muy débil, de onceava magnitud, que tenía también una paralaje alta, muy parecida a la de Alpha Centauri. Puesto que se encontraba a sólo 2° de ésta, había cierta probabilidad de que pudiera formar parte de este sistema solar múltiple. Un estudio de sus movimientos a lo largo de los años induce a creer que efectivamente es así.

A la distancia a que está Alpha Centauri, una diferencia de posición en el firmamento de 2° representa una distancia de 0,15 años-luz. La estrella oscura de Innes, a la que podemos llamar Alpha Centauri C, ha de estar entonces aproximadamente a 1,6 billones de kilómetros de las dos estrellas principales del sistema. Esto es aproximadamente 270 veces la distancia que separa a Plutón de nuestro Sol, o 10.000 veces la distancia a éste desde la Tierra. Alpha Centauri C tardaría bastante más de un millón de años en describir una órbita completa alrededor de las estrellas principales.

La órbita de Alpha Centauri C está dispuesta en el espacio en tal forma que, en su movimiento alrededor de las dos estrellas principales, se encuentra algunas veces apreciablemente más cerca de nosotros que ellas, y otras veces, apreciablemente más lejos. En su caso, esta diferencia es apreciable, y los cambios de mayor proximidad a mayor distancia y otra vez a mayor proximidad se producen sólo a intervalos muy largos.

En este momento, casualmente, Alpha Centauri C se halla en una parte de su órbita en que está considerablemente más próxima a nosotros que las dos estrellas principales. Ha estado en esa parte de su órbita durante toda la historia de la civilización, y seguirá estando en ella durante muchas decenas de miles de años. Su paralaje en 0,762", en comparación con los 0,756" de las estrellas principales, y su distancia con respecto a nosotros es 4,27 años-luz (1,31 parsecs) en lugar de los 4,40 años luz (1,35 parsecs) a que se encuentran las estrellas principales.

Por este motivo, a veces se llama a Alpha Centauri C "Próxima Centauri".

Nuestras vecinas

En la tabla 14 se relacionan todas aquellas estrellas de las que sabemos que están a distancias no superiores a 13 años luz (4 parsecs) de nuestro sistema solar. Vemos en la tabla 14 que las diversas indicaciones mencionadas hacia el final del capítulo precedente eran correctas. Efectivamente, Alpha Centauri y Sirius son nuestras vecinas más próximas entre las estrellas brillantes... y, si nos parecen tan brillantes es, al menos en parte, a causa de su proximidad.

TABLA 14. *Nuestras vecinas más próximas*

Estrella	*Distancia*	
	Años-luz	*Parsecs*
Alpha Centauri C	**4,27**	**1,31**
Alpha Centauri A y B	**4,40**	**1,35**
Estrella de Barnard	5,86	1,81
Wolf 359	7,66	2,35
Lalande 21185	8,21	2,52
Sirius A y B	8,63	2,65
Luyten 726-8 A y B	8,86	2,72
Ross 154	9,45	2,90
Epsilon Eridani	10,7	3,28
Luyten 789.6	10,8	3,31
Ross 128	10,8	3,31
61 Cygni A y B	11,2	3,44
Epsilon Indi	11,2	3,44
Procyon A y B	11,4	3,50
Sigma 2398 A y B	11,5	3,53
Groombridge 34 A y B	11,6	3,56
Lacaille 9352	11,7	3,59
Tau Ceti	11,9	3,65
+5° 1668	12,4	3,81

Lacaille 8760	12,8	3,93
Estrella de Kapteyn	13,0	4,02
Ross 614	13,1	4,02
Krüger 60	13,1	4,02

Sin embargo, la proximidad no basta. De las treinta estrellas próximas (contando individualmente las dos estrellas componentes de los sistemas binarios), sólo cuatro (Alpha Centauri A, Alpha Centauri B, Sirius A y Procyon A) figuran entre las estrellas más brillantes. Otras cinco (Epsilon Eridani, 61 CygniA, Cygni B, Epsilon Indi y Tau Ceti) no son brillantes, pero todavía son perceptibles a simple vista. Las 21 estrellas próximas restantes, el 70 por 100 del total, son tan débiles que, a pesar de su proximidad, no es posible verlas sin la ayuda del telescopio.

Parece muy poco probable que nuestro sistema solar se halle rodeado de estrellas débiles u oscuras a título excepcional y por pura casualidad. Se diría que es mucho más probable que la existencia de estrellas débiles sea muy común en todas partes; que la mayoría de las estrellas sean demasiado débiles para que se las pueda distinguir, ni siquiera con el telescopio, a menos que estén relativamente próximas al observador; y que las excepcionales sean las estrellas brillantes.

Las únicas estrellas débiles que vemos, aun con el telescopio, están bastante próximas. Cuanto más lejos penetramos con nuestros instrumentos, más limitados vamos estando a ver solamente los objetos brillantes... de modo que, si confiamos únicamente en nuestros sentidos, nos hacemos una idea falsa acerca del brillo del universo estrellado.

TABLA 15. *Distancia de las estrellas brillantes*

Estrella	*Distancia*	
	Años-luz	*Parsecs*
Alpha Centauri	**4,27**	**1,31**
Sirius	8,63	2,65
Procyon	11,43	3,51
Altair	15,7	4,82
Fomalhaut	23	7,1
Vega	27	8,3
Pollux	33	10,1
Arcturus	40	12,3
Capella	42	12,9
Castor	45	13,8
Aldebaran	55	16,9
Achernar	70	21,5
Regulus	77	23,6
Canopus	100	31
Beta Centauri	190	58
Spica	190	58
Alpha Crucis	220	68
Antares	220	68
Betelgeuse	275	84
Deneb	400	123
Rigel	540	165

En la tabla 15 se dan las distancias de las diversas estrellas de primera magnitud. La más lejana de ellas se encuentra a 540 años-luz (165 parsecs). Dentro de esa distancia (y juzgando por el número de estrellas existentes en nuestra inmediata proximidad) ha de haber alrededor de 240 millones de estrellas como mínimo; y todas ellas, menos unos cuantos millares de las más brillantes, son imperceptibles a simple vista. La mayoría, en realidad, son invisibles incluso para nuestros telescopios.

Cuanto mayor es la distancia de una estrella, menor es su paralaje, y más difícil es medir exactamente dicha distancia. Por consiguiente, aunque podamos estar bastante seguros acerca de la distancia de las estrellas más próximas, la de las más alejadas se hace más bien borrosa. Las cifras de distancia correspondientes a la media docena de estrellas más lejanas incluidas en la tabla 15 son bastante aproximativas; y, sin embargo, esas estrellas están muy próximas a nosotros en comparación con la mayoría de las existentes en el universo.

La mayoría de las estrellas y agrupaciones de estrellas del universo se hallan a distancias de miles, o millones, o incluso miles de millones de años-luz, y sus distancias se han de determinar por métodos distintos del de la paralaje. Sin embargo, tales estrellas distantes no son los temas que hemos de estudiar en este libro. Aquí nos ocupamos sólo de las estrellas más brillantes.

El factor de la distancia

Una cosa que destaca en la tabla 15 es la notable brillantez de algunas de las estrellas más distantes. Consideremos el caso de Rigel. Está unas 50 veces más lejos de nosotros que Procyon y, sin embargo, Rigel aparece en el firmamento con un brillo mayor que el de Procyon. Rigel está aproximadamente 120 veces más lejos que Alpha Centauri, pese a lo cual las dos estrellas no difieren mucho en su brillo aparente.

La intensidad de la luz disminuye en función del cuadrado de la distancia. Quiere decirse que si dos estrellas emiten luz en cantidades iguales, pero una se encuentra cincuenta veces más lejos de nosotros que la otra (como Rigel está 50 veces más remota que Procyon), entonces la más distante aparece con un brillo reducido en proporción al cuadrado de 50; es decir, 50 x 50, o 2.500 veces menor. Sin embargo, Rigel no aparece en absoluto como una estrella débil; es más brillante que Procyon. Por consiguiente, la emisión de luz de Rigel ha de ser más de 2.500 veces superior a la de Procyon, de modo que ni siquiera su distancia 50 veces mayor logra debilitarla hasta el nivel de ésta.

O mirémoslo desde el otro ángulo. Alpha Centauri C es mucho más débil que Alpha Centauri A o B, aunque la primera está un poco más próxima a nosotros que las otras dos componentes del sistema. Lo único que podemos suponer es que Alpha Centauri C emite mucha menos luz que Alpha Centauri A o que la B.

Resumiendo: una vez que se determinaron las distancias de diversas estrellas, se descubrió rápidamente que las diferencias de brillo de las mismas en el firmamento no se debían por entero a sus diferencias de distancia. También había diferencias en la cantidad de luz que emitían.

La diferencia en la cantidad de luz emitida por diversas estrellas se puede hacer más clara si suponemos que todas las estrellas se encuentran a una distancia determinada de nosotros y calculamos cuáles serían entonces sus magnitudes.

Por ejemplo, Alpha Centauri tiene una magnitud de - 0,27 y una distancia de 1,35 parsecs. Supóngase que la imaginamos a una distancia de 10 parsecs, que es 7,4 veces su distancia real. Puesto que la estamos suponiendo más lejana, a esta nueva distancia nos aparecería más débil, reduciéndose su brillo en 7,4 x 7,4 o 55 veces. Partiendo de esta reducción de su brillo, podemos calcular cuál sería su magnitud a 10 parsecs.

Por otra parte, imaginemos que Rigel, que tiene una magnitud de 0,14 a una distancia a 165 parsecs, se hallase también a una distancia de 10 parsecs. Puesto que la estamos imaginando más próxima de lo que realmente está, nos aparecería más brillante. Su aumento de brillo sería de 16,5 x 16,5, o 272 veces, y partiendo de esto se puede calcular cuál sería su magnitud a 10 parsecs.

La magnitud que cualquier estrella tendría si estuviera a una distancia de 10 parsecs de nosotros se llama su "magnitud absoluta". Lo que hasta ahora hemos venido llamando simplemente en este libro la "magnitud" -el brillo de una estrella, sea cual fuere la distancia a que se encuentre en realidad- recibe a veces el nombre de magnitud aparente.

En la tabla 16 damos las magnitudes absolutas de las estrellas más brillantes.

TABLA 16. -*Magnitud absoluta de las estrellas brillantes*

Estrella	*Magnitud absoluta*
Rigel	- 6,2
Betelgeuse	- 5,6
Deneb	- 4,8
Canopus	- 4,6
Beta Centauri	- 3,1
Alpha Crucis A	- 2,7
Achernar	- 2,6
Antares A	- 2,4
Spica	- 2,2
Alpha Crucis B	- 2,2
Regulus A	- 0,7
Capella A	- 0,5
Aldebaran A	- 0,5
Arcturus	0,0
Vega	0,5
Pollux	1,0
Sirius A	1,3
Antares B	1,6
Fomalhaut	2,1
Altair	2,4
Procyon A	2,8
Alpha Centauri A	**4,7**

Al hablar de una estrella con una magnitud aparente baja se dice que es "brillante"; al hablar de una con una magnitud absoluta baja se dice que es "luminosa". Así, de todas

las estrellas que podemos ver a simple vista, Sirius A es la más brillante, pero Rigel es la más luminosa.

No hay ninguna estrella más brillante que Sirius A, porque el brillo es algo perceptible por los ojos, y podemos ver que no hay ninguna estrella que brille más que ella. Por otra parte, una estrella puede ser muy luminosa y, sin embargo, estar tan lejana que ni siquiera sea posible verla a simple vista. No hay, pues, ninguna razón para pensar que, entre todos los miles de millones de estrellas no perceptibles a simple vista, no pueda haber muchas más luminosas que Rigel. Lo malo es que sin conocer la distancia real de una estrella no podemos calcular su luminosidad, y conocemos la distancia de sólo un número reducido de estrellas.

Sí que sabemos, sin embargo, de una estrella que es claramente más luminosa que Rigel, aun cuando es invisible a simple vista.

En la constelación Dorado, en la mitad austral del firmamento (y, por lo tanto, invisible para los residentes en Estados Unidos o Europa), se encuentra la Nube Magallánica Mayor. Se trata de un conjunto de millones de estrellas, tan lejanas que a simple vista todas ellas aparecen sólo como una pequeña mancha de débil y nebulosa luminosidad. La distancia de la Nube Magallánica Mayor ha sido determinada por métodos distintos del de la paralaje, y ha resultado ser de 150.000 años-luz (45.000 parsecs), es decir, 34.000 veces más distante que Alpha Centauri.

Con el telescopio es posible distinguir algunas de las estrellas de la Nube Magallánica Mayor, y la más brillante de ellas es una llamada "S Doradus". A esta enorme distancia, S Doradus aparece desde luego reducida a un diminuto punto de luz, pero el hecho de que pueda todavía mostrar este brillo a la enorme distancia de 150.000 años-luz es verdaderamente notable. Si viésemos a S Doradus desde una distancia de sólo 10 parsecs, resultaría tener una magnitud absoluta de aproximadamente -9,5. (Existen también ocasiones en que una estrella estalla y en que, durante breve tiempo, puede alcanzar un máximo de brillo equivalente a una magnitud absoluta de -14.)

Sin embargo, y limitándonos a estrellas visibles a simple vista y que no hayan sufrido ninguna explosión, resulta que hay no menos de dieciséis estrellas familiares que son más luminosas que Sirius A. De hecho, Alpha Crucis A y Alpha Crucis B, las dos componentes de la binaria Alpha Crucis, son *cada una de ellas* más luminosa que Sirius A. (Rigel, sin embargo, es mucho más luminosa que las dos componentes de Alpha Crucis juntas.)

Por otra parte, el brillo con que aparece en el firmamento Alpha Centauri es en buena parte un tributo a su poco usual proximidad. De todas las estrellas de primera magnitud, Alpha Centauri es la menos luminosa. A una distancia de 10 parsecs, Alpha Centauri A sería una estrella débil muy corriente, y Alpha Centauri B, que es aún más débil, sería apenas visible a simple vista en una noche sin luna, despejada y oscura. (Por otra parte, si Rigel estuviera a la distancia de Alpha Centauri sería un punto de luz enormemente brillante, con un brillo casi igual al de la Luna llena. Probablemente perjudicaría a la vista mirar a Rigel si ésta estuviera tan próxima como Alpha Centauri.)

Antes de que nos sintamos demasiado desencantados con Alpha Centauri, sin embargo, consideremos a nuestro propio Sol. Es mucho más brillante que todas las estrellas visibles a simple vista juntas, pero ¿cuál es su luminosidad? Después de todo, el Sol está tan próximo a nosotros en comparación con las estrellas que tal vez su brillo se deba enteramente a su proximidad, y no se trate en absoluto de un astro muy luminoso.

El Sol se encuentra sólo a 0,0000158 años-luz (0,0000048 parsecs) de la Tierra. Si lo imagináramos a una distancia de 10 parsecs, tendría una magnitud absoluta de 4,69. en otras palabras, aunque Alpha Centauri no haga un papel muy importante en comparación con las demás estrellas de primera magnitud, es tan luminosa como nuestro Sol... o, si preferimos mirarlo en esta forma, nuestro Sol es una estrella tan poco destacada como Alpha Centauri A.

No obstante, antes de despreciar demasiado a la ligera a Alpha Centauri A o al Sol, consideremos que hay estrellas mucho menos luminosas que cualquiera de estas dos, como ponen de manifiesto los ejemplos dados en la tabla 17. Además, recordemos que las estrellas débiles son mucho más numerosas que las brillantes, y que las estrellas distantes abundan mucho más que las próximas. La frecuencia con que se dan simultáneamente el brillo escaso y la distancia grande, significa que la mayoría de las estrellas son invisibles para nosotros, y que las estrellas de brillo prominente son muy raras. No hemos de dar excesiva importancia, por lo tanto, a la existencia de esas poquísimas estrellas doradas de la gran luminosidad de una Rigel o de una S Doradus. Alrededor del 90 por 100 de las estrellas existentes son menos luminosas que el Sol o que Alpha Centauri A.

TABLA 17. -*Magnitud absoluta de algunas estrellas débiles*

Estrella	*Magnitud absoluta*
Alpha Centauri A	**4,7**
Sol	4,7
Regulus B	5,6
70 Ophiuchi A	5,8
Tau Ceti	5,9
Alpha Centauri B	**6,1**
Epsilon Eridani	6,2
Epsilon Indi	7,0
70 Ophiuchi B	7,5
61 Cygni A	7,9
61 Cygni B	8,6
Capella B	9,3
Sirius B	10,0
Estrella de Kapteyn	10,8
Regulus C	11,0
Aldebaran B	11,4
Procyon B	13,1
Estrella de Barnard	13,3
Estrella de Van Maanen	14,3
Alpha Centauri C	**15,4**
Wolf 359	16,6
Estrella de Van Biesbroeck	19,2

Extremos de luminosidad

Sin duda, es bastante difícil hacerse una idea de la luminosidad basándose únicamente en las magnitudes, puesto que cada magnitud representa un múltiplo de la precedente.

Supongamos, por ejemplo, que una estrella concreta supera en una magnitud el brillo de otra. Esa estrella concreta es 2,512 veces más brillante. Una estrella que supera el brillo de otra en dos magnitudes, es 2,512 x 2,512 o 6,31 veces más brillante. Una que supere a otra en tres magnitudes, será 2,512 x 2,512 x 2,512, o 15,85 veces más brillante que ella.

Supongamos, por consiguiente, que consideramos directamente la luminosidad. No nos importe en cuántas magnitudes absolutas puede ser una estrella determinada más brillante o más oscura que el Sol; en lugar de ello, calculemos cuánta más -o cuánta menos- luz emite: cuánto más -o menos- luminosa es.

Por ejemplo, Procyon A tiene una magnitud absoluta justamente 1,9 veces superior a la de Alpha Centauri A. Eso significa que Procyon A es 5,8 veces más luminosa que Alpha Centauri A. Harían falta 5,8 estrellas como Alpha Centauri A para producir tanta luz como Procyon A.

Por otra parte, la magnitud absoluta de Alpha Centauri A es 2,3 veces mayor que la de Epsilon Indi. Esto significa que Alpha Centauri A es 8,1 veces más luminosa que Epsilon Indi, o que ésta tiene 0,12 veces la luminosidad de Alpha Centauri A.

En la tabla 18 se relacionan las luminosidades de algunas estrellas que son más luminosas que Alpha Centauri A o que el Sol, en la tabla 19 se dan las luminosidades de algunas que son menos luminosas que Alpha Centauri o que el Sol.

TABLA 18. -*Luminosidades de algunas estrellas brillantes*

Estrella	*Luminosidad (Sol=1)*
S Doradus	480.000
Rigel	23.000
Betelgeuse	13.000
Deneb	6.300
Canopus	5.200
Beta Centauri	1.300
Alpha Crucis A	910
Achernar	830
Antares A	690
Spica	570
Alpha Crucis B	570
Regulus A	140
Capella A	120
Aldebaran A	120
Arcturus	76
Vega	48
Pollux	30
Sirius A	23
Antares B	17
Fomalhaut	11
Altair	8,3
Procyon A	5,8

Alpha Centauri A	**1,0**
Sol	1,0

Podemos ver en la tabla 18 que Sirius A es 23 veces más brillante que Alpha Centauri A o que el Sol. Lo cual no es sorprendente en realidad. Halley había calculado que debería estar a dos años-luz de nosotros si era tan brillante como nuestro Sol. El hecho de que esté a más de ocho años-luz significa inmediatamente que ha de ser bastante más brillante que el Sol para aparecer con el brillo que muestra.

Si se sustituyera nuestro Sol por Alpha Centauri A, es probable que el hombre de la calle no pudiera apreciar la diferencia. Sin embargo, si se sustituyese el Sol por Sirius A, el enorme torrente adicional de luz y de calor haría que nuestros océanos hirvieran y se evaporasen, y sería imposible la vida en la Tierra. Para que Sirius nos apareciese sólo con el brillo actual del Sol, la Tierra tendría que girar a su alrededor a una distancia de 720.000.000 de kilómetros, en comparación con su distancia del Sol, que es, recordémoslo, de 150.000.000 de kilómetros. Hablando en términos aproximativos, si se sustituyese al Sol por Sirius A, éste aparecería desde la órbita de Júpiter tal como el Sol aparece a la distancia de la Tierra.

TABLA 19. -*Luminosidades de algunas estrellas débiles*

Estrella	*Luminosidad (Sol=1)*
Alpha Centauri A	**1,0**
Sol	1,0
Regulus B	0,44
70 Ophiuchi A	0,36
Tau Ceti	0,33
Alpha Centauri B	**0,28**
Epsilon Eridani	0,25
Epsilon Indi	0,12
70 Ophiuchi B	0,076
61 Cygni A	0,053
61 Cygni B	0,028
Capella B	0,014
Sirius B	0,0076
Estrella de Kapteyn	0,0036
Regulus C	0,0030
Aldebaran B	0,0021
Procyon B	0,00044
Estrella de Barnard	0,00036
Estrella de Van Manen	0,00014
Alpha Centauri C	**0,000053**
Wolf 359	0,000017
Estrella de Van Biesbroeck	0,0000015

Imaginemos a Rigel en el lugar del Sol. La Tierra tendría que orbitar a una distancia de 23.000.000.000 de kilómetros para que la luz del astro se redujese al nivel de la del Sol tal como lo vemos desde la Tierra. Esto equivaldría aproximadamente a cuatro veces la

distancia de Plutón. En otras palabras, si se situase a Rigel en el lugar de nuestro Sol, incluso Plutón resultaría insoportablemente caluroso desde el punto de vista humano.

La colocación de S Doradus en el lugar del Sol nos obligaría a retirarnos a la distancia de 105.000.000.000 de kilómetros, o aproximadamente 17 veces la distancia de Plutón.

Pensemos en esto, y tal vez decidamos que Alpha Centauri A no es en absoluto tan decepcionantemente débil. Más bien es una agradable y hogareña estrella, la confortante hermana gemela de nuestro Sol.

Y ¿qué ocurre con las estrellas menos luminosas? Supongamos que se sustituyera al Sol por la estrella de Van Biesbroeck (llamada así por el nombre de su descubridor, el astrónomo belga-norteamericano George Van Biesbroeck). Es la estrella más débil u oscura que se conoce, y su brillo es sólo 1/670.000 del brillo solar. No produciría luz y calor suficientes para evitar que los océanos de la Tierra se congelasen, convirtiéndose en sólido hielo. Luciría en nuestro cielo como una canica de color rojo oscuro, con un brillo de sólo tres cuartas partes del que nos envía la Luna llena. (Y con esa diminuta estrella en nuestro cielo, la Luna recibiría tan poca luz que apenas sería visible.)

Para que la Tierra recibiese de la estrella de Van Biesbroeck tanta luz como la que ahora recibe del Sol, tendría que orbitar alrededor de ella a una distancia de unos 183.000 kilómetros. Ese diminuto sol tendría que estar más cerca de la Tierra que lo que ahora está la Luna. Los dos extremos son insoportables, y somos afortunados al tener un sol que es una estrella normal de tipo medio.

Tal vez pueda pensarse que esta forma de ver la cuestión revela cierta estrechez de miras. Puede pensarse que nos hallamos a gusto con el Sol porque estamos acostumbrados a él tal como es, y que si hubiéramos tenido un sol considerablemente más grande, o más pequeño, estaríamos acostumbrados a *eso*, y pensaríamos que el sol grande o el sol pequeño eran exactamente lo conveniente.

En realidad, como veremos más adelante en el libro, la estrella media es la que nos conviene, y no sólo porque estemos acostumbrados a ella.

5. Distancia y tamaño

Sistemas binarios

Una vez que los astrónomos determinaron la distancia de las estrella, fue posible empezar a hablar de tamaños. Pudieron, por ejemplo, calcular las dimensiones de los sistemas binarios.

Si se observa un sistema binario a lo largo de años, se puede ir representando gráficamente el cambio de posición de las dos estrellas y trazar un pequeño diagrama de la forma en que se mueven. Se puede medir la separación de las dos estrellas en segundo de arco y, si la distancia es conocida, convertirla en kilómetros reales.

TABLA 20. -*Dimensiones de sistemas binarios*

Estrella	*Distancia de separación en kilómetros*
Delta Cygni	16.000.000.000
Castor	11.400.000.000
Eta Cassiopeiae	9.700.000.000
Phi Urase Maioris	6.900.000.000
Gamma Virginis	6.800.000.000
(Plutón-Sol)	(5.900.000.000)
(Neptuno-Sol)	(4.500.000.000)
Alpha Ursae Maioris	4.300.000.000
70 Ophiuchi	3.500.000.000
Zeta Sagittarii	3.500.000.000
Alpha Centauri	**3.500.000.000**
Eta Ophiuchi	3.200.000.000
Zeta Cancri	3.150.000.000
Sirius	3.000.000.000
Xi Scorpii	3.000.000.000
(Urano-Sol)	(2.870.000.000)
Procyon	2.250.000.000
Zeta Herculis	2.040.000.000
Eta Coronae Borealis	1.870.000.000
42 Comae	1.840.000.000
Epsilon Hydrae	1.650.000.000
(Saturno-Sol)	(1.400.000.000)
(Júpiter-Sol)	(777.000.000)
Delta Equulei	620.000.000
Beta Capricorni	375.000.000
(Marte-Sol)	(228.000.000)
(Tierra-Sol)	(150.000.000)
(Venus-Sol)	(108.000.000)
Capella	84.000.000

(Mercurio-Sol)	(58.000.000)
Mizar	42.500.000

Por ejemplo, el magnífico sistema binario de Alpha Crucis está formado por dos estrellas separadas unos 80.000 millones de kilómetros. Una de ellas es 910 veces más brillante que el Sol, y la otra 570 veces más brillante.

En la tabla 20 se da la distancia media entre las dos estrellas de cierto número de sistemas binarios. Para dar al lector una idea de la magnitud de estas separaciones en comparación con las más familiares de nuestro propio sistema solar, se dan los diversos planetas con sus distancias desde nuestro Sol, intercalándolos en los lugares apropiados de la tabla.

Las estrellas incluidas en la tabla 20 constituyen solamente una muestra, y las cifras que se dan para muchos de los sistemas tienen una exactitud solamente limitada.

La separación de las dos estrellas de Delta Cygni es casi tres veces mayor que la distancia de Plutón al Sol, pero hay también separaciones mayores que ésta. Después de todo, Alpha Centauri C está separada de Alpha Centauri A y B por aproximadamente 1.600 billones de kilómetros. Esta distancia es más de 250 veces mayor que la de Plutón al Sol, y aproximadamente 100 veces la que separa a las dos estrellas de Delta Cygni.

En el otro extremo de magnitud, las dos estrellas que forman el sistema binario de Mizar están más próximas entre sí que Mercurio con respecto al Sol, y sin embargo hay binarias en que las dos estrellas componentes están todavía mucho más cerca. Las parejas realmente próximas no se pueden distinguir visualmente una de otra ni siquiera con ayuda del telescopio. Afortunadamente, como veremos, hay otros instrumentos disponibles.

En el caso del sistema de Alpha Centauri, la separación media entre las dos estrellas Alpha Centauri A y Alpha Centauri B es mayor que la existente entre Urano y el Sol, y menor que la que hay entre Neptuno y el Sol. Sin embargo, si se superpusiera el sistema de Alpha Centauri sobre el sistema solar, con Alpha Centauri A en el lugar de nuestro Sol, Alpha Centauri B no ocuparía una órbita circular comprendida entre las de Urano y Neptuno. Las cosas serían un poco más complicadas.

Si la órbita de un objeto en movimiento alrededor de una estrella fuese un círculo exacto, la estrella permanecería en el centro preciso de la órbita, y ello representaría una situación muy sencilla. En realidad, la órbita es siempre una elipse, una especie de círculo aplanado (o aplastado). Una elipse tiene un eje mayor (su diámetro más largo) y un eje menor (su diámetro más corto). El centro de la elipse está en el punto en que se cruzan los dos ejes (véase la figura 1).

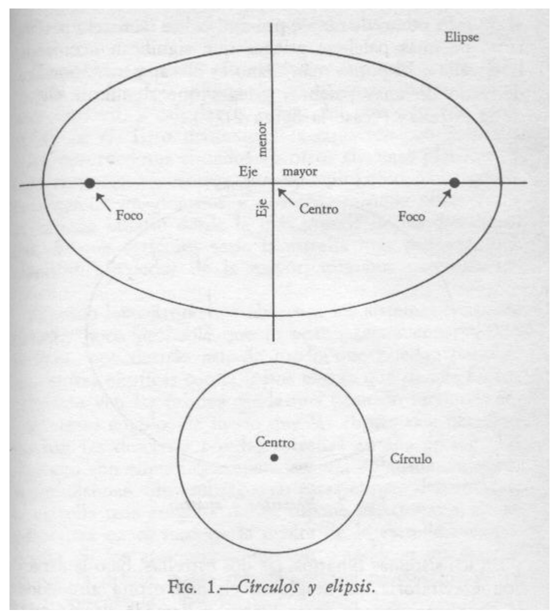


FIG. 1.—*Círculos y elipsis.*

En la elipse hay dos puntos focales, o focos. Están situados en el eje mayor, cada uno a un lado del centro y a distancias iguales de éste. Cuanto más aplanada es la elipse, más alejados del centro están los dos focos, y más próximos a los extremos.

Estos focos están situados en tal forma que si se traza una línea recta desde uno de los focos a cualquier punto de la elipse, y luego se une este punto mediante una nueva recta al otro foco, la suma de las longitudes de las dos rectas es siempre igual, y tiene también siempre la misma longitud que el eje mayor.

Casualmente, cuando un objeto se mueve alrededor de una estrella siguiendo una órbita elíptica, la estrella se encuentra siempre en uno de los focos, hallándose, por consiguiente, más próxima a un extremo de la órbita que al otro. El punto de mayor proximidad se llama el "periastro", de unas palabras griegas que significan "cerca de la estrella". El punto más lejano es el "apastro", nombre derivado de unas palabras griegas que significan "lejos de la estrella" (véase la figura 2).

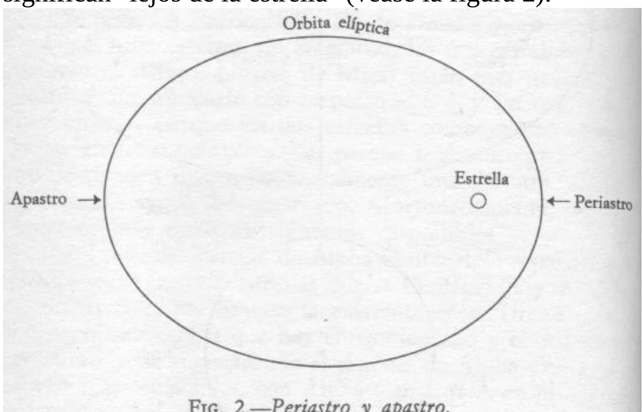


FIG. 2.—*Periastro y apastro.*

En los sistemas binarios, las dos estrellas, bajo la atracción gravitatoria, se desplazan en una órbita alrededor de un punto situado entre ambas y llamado "centro de

gravedad". Al moverse, ambas estrellas permanecen siempre en lados opuestos del centro de gravedad, y la estrella más grande está siempre más próxima a él. Esto significa que, aunque ambas estrellas tienen órbitas elípticas de la misma forma, la estrella más grande se desplaza siempre en la órbita más pequeña.

Cuando un objeto de un par binario es mucho más grande que el otro, forma una elipse tan pequeña alrededor del centro de gravedad que permanece prácticamente estacionario. Tal es el caso del Sol y la Tierra, por ejemplo, en el que el Sol apenas se mueve algo, mientras que la pequeña Tierra se desplaza trazando una gran elipse.

Siempre es posible, sin embargo, suponer que el más grande de los dos objetos de un sistema binario permanece inmóvil, y calcular la órbita del más pequeño alrededor de él. Esto distorsiona la situación con respecto a los observadores situados en otros sistemas planetarios (con respecto a nosotros, por ejemplo). Sin embargo, si pudiéramos imaginarnos a nosotros mismos observando el sistema binario desde la más grande de las dos estrellas, lo que veríamos sería la estrella más pequeña moviéndose alrededor de la mayor, que nos parecería inmóvil.

Cuando los astrónomos observan los sistemas binarios, es muy poco probable que lo vean exactamente "desde arriba", por decirlo así, de modo que puedan percibir las órbitas elípticas en la forma exacta que tienen. Generalmente ven las órbitas desde una posición inclinada según cierto ángulo, de modo que las elipses que perciben no son las descritas por las estrellas en sus órbitas. Lo que ven son elipses que aparecen más aplanadas, a veces aplanadísimas. Sin embargo, en estas elipses deformadas, la estrella más grande, que se supone estacionaria, no se encuentra en el foco de la órbita de la estrella más pequeña. Si los astrónomos tuercen o inclinan imaginariamente la órbita, hasta que la estrella se coloque en el foco, obtienen la elipse verdadera.

Excentricidad

El grado de achatamiento de una elipse se mide mediante su "excentricidad", puesto que cuanto mayor es la excentricidad, más alejados del centro se encuentran los focos. La excentricidad de un círculo, que no está aplanado en absoluto, es 0. Para una elipse, la excentricidad está siempre entre 0 y 1. si una elipse tiene una excentricidad pequeña, por ejemplo, inferior a 0,1, está tan poco aplanada que, a simple vista, se parece muchísimo a un círculo. A medida que una elipse va siendo más y más achatada, se va acercando cada vez más a un valor de 1. cuando se alcanza una excentricidad de 0,9, la órbita toma una forma bastante parecida a la de un cigarro puro.

Un ejemplo de alto grado de excentricidad en un sistema binario es el de Gamma Virginis, en el que la excentricidad es de 0,88. esto significa que la distancia desde el centro de la elipse al foco es 0,88 veces la distancia desde el centro de la elipse al extremo de ésta. Con la estrella mayor situada en un foco, el extremo de la órbita de la otra estrella en la dirección de ese foco (el periastro) está a sólo 0,12 veces la distancia desde el centro, y a sólo 0,06 veces la longitud entera de la elipse desde un extremo a otro. El otro extremo de la elipse (el apastro) dista de la estrella mayor 0,94 veces la longitud entera de la elipse.

Así pues, en el caso de Gamma Virginis, aunque la distancia media que separa a las dos estrellas de la binaria es 6.800.000.000 de kilómetros, en el periastro la distancia de

separación es solamente de 810.000.000 de kilómetros, mientras que en apastro es de 12.800.000.000 de kilómetros.

En otras palabras, las dos estrellas de Gamma Virginis, al girar cada una alrededor de la otra, se aproximan vertiginosamente hasta una separación igual a la existente entre Júpiter y el Sol, y luego se apartan de nuevo hasta una distancia más del doble de la que hay entre Plutón y el Sol. (El sistema estuvo en apastro en 1920, y las dos estrellas han venido acercándose cada vez más desde entonces. Estarán en periastro en el año 2006.)

En general, las estrellas separadas por una distancia media bastante grande suelen tener excentricidades pronunciadas. Una binaria como Capella, con una separación media de sólo 84.000.000 de kilómetros, tiene una excentricidad muy pequeña, de sólo 0,0086. esto significa que la distancia entre las estrellas del sistema Capella varía desde 83.300.000 kilómetros en el periastro a 84.700.000 kilómetros en el apastro.

Este es un cambio tan pequeño que, desde el punto de vista de una de las estrellas del sistema Capella, la otra apenas parecería cambiar de brillo durante el período de revolución de 104 días. En el caso de Gamma Virginis, por otra parte, un observador situado cerca de una de las estrellas vería a la otra 250 veces más brillante en el periastro que en el apastro.

Digamos, de paso, que las excentricidades de las órbitas planetarias del sistema solar son mucho más parecidas a las de las estrellas de Capella que a las del sistema Gamma Virginis. Las excentricidades de las órbitas de Venus y Neptuno son aproximadamente iguales a las del sistema Capella, mientras que la de la Tierra (0,017) es sólo un poco mayor. Esto es bueno, también, porque una órbita muy excéntrica introduciría tales cambios de temperatura en el transcurso del año que un planeta cuya distancia media del Sol fuese la adecuada podría, a pesar de ello, resultar inhabitable.

Consideremos ahora el grupo de binarias de la tabla 20 cuyas separaciones medias son del orden de 3.000 a 3.500 millones de kilómetros, grupo en el que está incluida Alpha Centauri. En la tabla 21 se dan las excentricidades y las distancias de periastro y apastro correspondientes a este grupo.

TABLA 21. -*Excentricidades de sistemas binarios*

Sistema estelar	*Excentricidad*	*Periastro (millones de kilómetros)*	*Apastro (millones de kilómetros*
70 Ophiuchi	0,50	1.750	5.250
Zeta Sagittarii	0,2	2.700	4.300
Alpha Centauri	**0,521**	**1.700**	**5.33**
Eta Ophiuchi	0,90	320	6.080
Zeta Cancri	0,31	2.200	4.100
Sirius	0,575	1.280	4.720
Xi Scorpii	0,74	780	5.200

Como puede verse, los apastros no difieren extraordinariamente, variando desde 4.100 a 6.080 millones de kilómetros, una diferencia de sólo un 50 por 100 aproximadamente. Los periastros, sin embargo, difieren desde 320 a 2.700 millones de kilómetros, una diferencia del 800 por 100.

El sistema de Alpha Centauri es más bien intermedio en lo que respecta a la excentricidad. Las órbitas de las dos estrellas Alpha Centauri A y B son más excéntricas

que las de los planetas de nuestro sistema solar, pero menos que las de algunos de los cometas, asteroides y satélites de dicho sistema.

Si Alpha Centauri A estuviera en el lugar de nuestro Sol, Alpha Centauri B en su máximo alejamiento se hallaría a una distancia de 5.300.000.000 de kilómetros o, aproximadamente, la distancia media de Plutón a nuestro Sol. Desde la posición de la Tierra, próxima a Alpha Centauri A, Alpha Centauri B parecería una estrella puntual, pero sería mucho más brillante que cualquiera de las que vemos en nuestro cielo. Brillaría con un resplandor unas 100 veces mayor que el de nuestra Luna llena, aunque todavía sería sólo 1/4.500 del de Alpha Centauri A, si ésta se hallara en el lugar del Sol (o del de nuestro Sol ahora mismo.)

Desde su punto de máximo alejamiento, sin embargo, Alpha Centauri B iría disminuyendo gradualmente su distancia a Alpha Centauri A (y a nosotros) al desplazarse a lo largo de su órbita (véase la figura 3) hasta que, al cabo de cuarenta años, estuviera en el periastro y a sólo 1.700.000.000 de kilómetros de Alpha Centauri A. En ese punto, se hallaría un poco más alejada de Alpha Centauri A que lo que Saturno lo está del Sol. Y cuando la Tierra estuviera en el lado de su órbita situada hacia Alpha Centauri B, la estrella compañera estaría sólo a 1.550.000.000 de kilómetros de nosotros.

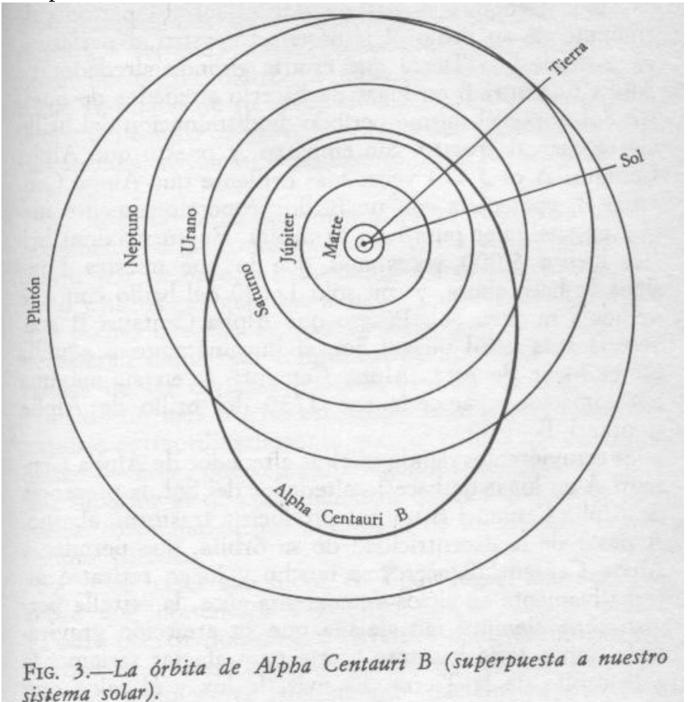


FIG. 3.—*La órbita de Alpha Centauri B (superpuesta a nuestro sistema solar).*

A esa distancia, el brillo de Alpha Centauri B sería algo más de 14 veces mayor que en el apastro. Sería 1.400 veces más brillante que la Luna llena, pero todavía sólo 1/326 del brillo de Alpha Centauri A.

Supongamos que fuera Alpha Centauri B la que se encontrara en el lugar de nuestro Sol, y que calculásemos la órbita de Alpha Centauri A, suponiendo que aquélla estuviese

inmóvil. Entonces, Alpha Centauri A parecería moverse en la misma órbita en que Alpha Centauri B se había movido en el caso anterior[*].

Alpha Centauri A pasaría por el mismo período de aumento de su brillo al ir desde el apastro al periastro, vista desde una Tierra que estaría girando alrededor de Alpha Centauri B en lugar de hacerlo alrededor de nuestro Sol, y por el mismo período de disminución del brillo al regresar al apastro. Sin embargo, y puesto que Alpha Centauri A es 3 1/4 veces más brillante que Alpha Centauri B, aparecería con un brillo proporcionalmente mayor en cualquier punto de su órbita. En su máximo brillo, luciría 5.000 veces más que lo que nuestra Luna llena lo hace ahora, y con sólo 1/100 del brillo con que vemos a nuestro Sol. Puesto que Alpha Centauri B aparecería con 1/30 del brillo de Alpha Centauri B.

Si estuviéramos dando vueltas alrededor de Alpha Centauri A en lugar de hacerlo alrededor del Sol, la presencia de Alpha Centauri B no nos produciría trastorno alguno. A pesar de la excentricidad de su órbita, que permite a Alpha Centauri B acercarse mucho y luego retirarse alternativamente en ciclos de cuarenta años, la estrella permanecería siempre tan alejada que su atracción gravitatoria nunca sería bastante fuerte para afectar seriamente a la órbita de la Tierra. Es más, la luz y el calor que sumase a los proporcionados por Alpha Centauri A nunca serían más de un tercio de 1 por 100. Y pensemos en el maravilloso espectáculo que nos proporcionaría en el cielo.

Si estuviésemos orbitando alrededor de Alpha Centauri B, el mayor brillo de Alpha Centauri A nos perturbaría más, pero si imaginásemos a la Tierra más aproximada a Alpha Centauri B, para recibir de este sol menor tanta luz y tanto calor como recibimos del nuestro, la interferencia de Alpha Centauri A no resultaría excesivamente molesta.

Bueno, ¿y qué pasaría con Alpha Centauri C, la Próxima Centauri? Aun cuando estaría mucho más cercana a nosotros -si la Tierra estuviese orbitando alrededor de Alpha Centauri A o de Alpha Centauri B- que lo está cualquier estrella en nuestro propio sistema solar, no llegaría a ser muy brillante. Sería una estrella bastante débil, de magnitud 3,7. es más, su movimiento propio, como resultado de su revolución de 1.300.000. años alrededor del centro de gravedad de las dos estrellas mayores del sistema, sería casi exactamente de un segundo de arco por año.

Ni su brillo ni su movimiento propio atraerían mucho la atención, y los contempladores de estrellas podrían observar por siempre el firmamento sin sospechar que esta débil estrella perteneciese a su propio sistema. Lo único que podría desvelar su secreto sería que los astrónomos decidieran hacer una comprobación rutinaria de las paralajes de las diversas estrellas visibles en el cielo. Al cabo de un mes o cosa así, empezarían a sospechar una paralaje extraordinariamente grande y, finalmente, la medirían y verían que tenía 20 segundos de arco, un valor tan superior al de cualquier otra estrella que inmediatamente sospecharían que se trataba de un miembro de su propio sistema.

¿Puede haber allá fuera, en algún lugar, una débil estrella que pertenezca a nuestro propio sistema solar? ¿Podrá ocurrir que no nos hayamos dado cuenta de ello porque dé la casualidad de que los astrónomos no la hayan estudiado con el detenimiento suficiente para detectar una paralaje anormalmente grande? No es muy probable... pero es concebible.

---

[*] Como Alpha Centauri B es la menor de las dos estrellas, parece que se mueve en la órbita más grande de las dos cuando la vemos *desde fuera* del sistema. Vista desde dentro de él, sin embargo, un observador situado en cada estrella vería a la otra desplazándose en la misma órbita. Así, situados en la Tierra y suponiéndola inmóvil, vemos al Sol moverse alrededor de ella en una órbita que es exactamente igual a la que la Tierra sigue realmente alrededor del Sol.

Masa

Las estrellas binarias hacen posible el cálculo de las masas de al menos algunas estrellas; pero, en primer lugar, hemos de explicar lo que entendemos por "masa".

Una forma de definir la masa es considerar la intensidad o fuerza del campo gravitatorio producido por cualquier objeto. Si un objeto tiene el doble de masa que otro, produce un campo gravitatorio que, a una distancia determinada, es dos veces más intenso que el de éste. A la inversa, si podemos medir los campos gravitatorios de dos cuerpos y hallamos que el del primero es dos veces más intenso que el del segundo, sabemos que la masa del primero es el doble de la del segundo.

La atracción gravitatoria entre dos objetos depende del producto de sus dos masas. Si uno de los objetos permanece inalterado, y se mide su atracción gravitatoria hacia otros objetos diversos, la magnitud de tal atracción depende de la masa de cada uno de esos otros objetos.

Supongamos que consideramos todos los diferentes objetos que reposan sobre la superficie de la Tierra. Cada uno de ellos está sometido a una atracción gravitatoria entre él y la Tierra. Puesto que la masa de ésta es la misma en cada caso, la magnitud de la atracción gravitatoria ejercido sobre cada objeto depende de la masa de éste.

Para medir la atracción gravitatoria que se ejerce sobre un objeto situado en la superficie de la Tierra podemos pesar dicho objeto. Cuanto más fuerte tire de él la Tierra, más "pesado" decimos que es el objeto. Cuanto más débil sea la atracción ejercida por la Tierra, más "ligero" es el objeto. Cuanta más masa posee un objeto, más fuertemente es atraído por la Tierra, y más pesado es. Cuanto menos masa posee, más ligero es.

Mientras nos limitemos a la superficie de la Tierra, la masa y el peso están tan estrechamente relacionados que podemos utilizar cualquiera de las dos palabras. Sin embargo, la atracción gravitatoria decrece con la distancia. Dos objetos pueden tener la misma masa, pero si uno de ellos está a 2.630 kilómetros de altura sobre la superficie de la Tierra, ese objeto pesa sólo la mitad que su gemelo situado en la superficie. Repetimos que los cuerpos astronómicos distintos de la Tierra tienen diferentes intensidades de atracción gravitatoria. Un objeto situado en la superficie de la Luna pesa sólo un sexto de lo que un objeto de masa igual a la suya pesa en la superficie de la Tierra.

Por consiguiente, es mucho más seguro olvidarse del peso y de las palabras "pesado" y "ligero". En lugar de ello, hablamos de objetos de "mayor masa" y de menor masa", o más y menos "masivo".

¿Podemos medir la masa de alguna otra forma que no sea la de pesar los objetos? Sí; recordemos que podemos comparar las intensidades gravitatorias.

En 1798, el científico inglés Henry Cavendish midió la atracción gravitatoria (verdaderamente diminuta) ejercida por una gran esfera de plomo sobre una esfera mucho más pequeña del mismo metal. Conocía la atracción gravitatoria de la Tierra sobre aquella pequeña bola de plomo. De la diferencia de estas atracciones, podía calcular la diferencia de masas entre la esfera grande de plomo y la Tierra, utilizando la "Ley Universal de la Gravitación" de Isaac Newton, que se dio a conocer por primera vez en 1687. Conociendo la masa de la esfera grande de plomo, pudo calcular la de la Tierra.

Resulta que la Tierra tiene una masa de 6.000.000.000.000.000.000.000.000 de kilogramos (6.000.000.000.000.000.000.000 toneladas).

Una vez conocida la masa de la Tierra, podemos calcular la de otros objetos del sistema solar.

El campo gravitatorio de la Tierra, por ejemplo, tira de la Luna desde una cierta distancia y, en respuesta a ello, la Luna se mueve en su órbita a una determinada velocidad y realiza su órbita a una determinada velocidad y realiza su órbita completa en cierto tiempo. Júpiter tiene algunos satélites a ciertas distancias de sí, y dichos satélites se mueven a determinadas velocidades y completan sus órbitas en tiempos igualmente determinados. Comparando la distancia de la Luna y su período de traslación alrededor de la Tierra con la distancia y el período de uno de los satélites que trazan sus órbitas alrededor de Júpiter, los astrónomos pueden calcular que el campo gravitatorio de Júpiter es 318 veces más intenso que el de la Tierra. Ello significa que Júpiter tiene una masa 318 veces mayor que la de nuestro planeta.

La Tierra se halla a cierta distancia del Sol; se desplaza alrededor de éste a cierta velocidad en respuesta a la gravedad solar y, por consiguiente, completa su órbita en un tiempo determinado. Comparando esto con la forma en que se mueve la Luna sometida a la gravedad de la Tierra, los astrónomos pueden calcular que la masa del Sol es 332.500 veces mayor que la de la Tierra. La masa del Sol es 2.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000 kilogramos (2.000.000.000.000.000.000.000.000.000 toneladas).

La masa se calcula en esta forma utilizando la "Tercera Ley de Kepler", llamada así porque fue elaborada y expresada por el astrónomo alemán Johann Kepler en 1619. Para hacer uso de la Tercera Ley de Kepler, sin embargo, necesitamos un objeto que orbite alrededor de otro a una distancia determinada y en un tiempo definido, y poder medir ambas magnitudes.

Si una estrella se halla aislada en el espacio, sin la compañía de otros objetos que podamos detectar, la Tercera Ley de Kepler no nos puede servir. En el caso de las estrellas binarias, sin embargo, todo está perfectamente dispuesto. Si podemos medir la distancia media entre las estrellas y el tiempo que éstas necesitan para orbitar alrededor de su centro de gravedad, podremos calcular la masa total de las dos estrellas del sistema binario mediante la comparación de sus distancias y de sus tiempos con las distancias y los tiempos de nuestro propio sistema solar. En la tabla 22 se da la masa total de ciertos sistemas binarios.

TABLA 22. -*Masa total de sistemas binarios*

Sistema binario	*Masa total (masa del Sol = 1)*
Capella	5,3
Castor	3,68
Sirius	3,55
Delta Equulei	3,20
Zeta Sagittarii	3,0
Procyon	2,38
Mizar	2,22
Alpha Centauri	**1,95**
Gamma Virginis	1,74
70 Ophiuchi	1,65
Zeta Herculius	1,6

Eta Ophiuchi	1,5
Delta Cygni	1,4
Alpha Ursa Maioris	1,2
Eta Cassiopeiae	1,18
61 Cygni	1,14
Eta Corona Borealis	1,1
Xi Bootis	1,0
85 Pegasi	0,9
Krüger 60	0,44
Ross 614	0,22

Si la masa total de un sistema binario es superior al doble de la del Sol, es posible que cada estrella del sistema binario tenga una masa mayor que la del Sol. Si la masa total está comprendida entre 1 y 2 veces la del Sol, entonces una de las estrellas ha de tener menos masa que él. Cuando la masa total es inferior a 1, las dos estrellas han de tener masas individuales menores que la del Sol.

En el caso de Alpha Centauri, una de las estrellas componentes ha de tener menos masa que el Sol. Es presumible que la menos brillante de las dos, Alpha Centauri B, sea también la de menor masa.

En realidad, se puede calcular la masa de cada componente de una binaria observando el tamaño de la órbita que cada una describe, tomando como referencia alguna estrella que esté próxima en el firmamento y que no forme parte del sistema. La estrella cuya masa es mayor, describe una órbita más pequeña. Se hace uso de este procedimiento, por ejemplo, para calcular la masa de nuestra Luna. La Luna y la Tierra giran alrededor del centro de gravedad del sistema Tierra-Luna, y la elipse descrita por el centro de la Tierra tiene una amplitud de sólo 1/81,3 de la descrita por el centro de la Luna. Esto significa que la masa de la Tierra es 81,3 veces mayor que la de la Luna.

En la tabla 23 se relacionan algunas binarias para las que se ha calculado la masa de cada estrella correspondiente.

TABLA 23. -*Masas de estrellas componentes de sistemas binarios*

Sistema binario	*Masa de A (Sol = 1)*	*Masa de B (Sol = 1)*
Sirius	2,50	1,05
Procyon	1,82	0,56
Alpha Centauri	**1,08**	**0,87**
70 Ophiuchi	0,95	0,70
Krüger 60	0,28	0,16
Ross 614	0,14	0,08

Como puede verse en esta tabla, Alpha Centauri A tiene no sólo la misma luminosidad aproximada que el Sol, sino también casi la misma masa. Alpha Centauri B, que es menos luminosa que el Sol, tiene también menos masa que éste.

Efectivamente, a medida que los astrónomos fueron comprobando las masas de diferentes estrellas, fue resultando que las de mayor masa eran casi siempre más luminosas

que las de masa menor. Esto parecía indicar la existencia de alguna relación entre luminosidad y masa.

Tal relación no podía ser muy simple, porque a medida que se determinaban las masas de más y más estrellas, se fue haciendo evidente que dichas masas no variaban en mucho. Algunas estrellas podían ser millones de veces más luminosas que otras y, sin embargo, su masa era sólo unos cientos de veces mayor. La variación de la masa era mucho menor que la de la luminosidad... pero, con la excepción de algunos casos especiales, siempre en la misma dirección.

El astrónomo inglés Arthur Stanley Eddington se dedicó a trabajar en este problema. Según él, una estrella ejerce una atracción gravitatoria sobre la materia que constituye sus propias capas más externas. Tal atracción determina en una estrella una tendencia a contraerse. Al contraerse la estrella, sus capas centrales se calientan. El calor tiende a producir la expansión de la estrella. Se precisan intensas temperaturas, del orden de millones de grados, en el núcleo de la estrella para que su tendencia a la expansión iguale a su tendencia a la contracción, y para que la estrella permanezca estable.

Cuanto mayor es la masa de una estrella, mayor es su campo gravitatorio y mayor su tendencia a contraerse. Cuanto más masiva es la estrella, más grande es la temperatura interna precisa para impedir que se contraiga. Finalmente, cuanto más masa tiene la estrella y más alta es su temperatura interna, más luz y más calor escapan hasta su superficie, y más luminosa es.

Eddington demostró que, desde este punto de vista, sería de esperar que la luminosidad creciese muy rápidamente al aumentar la masa. Su ley de "masa-luminosidad", anunciada en 1924, concordaba con lo que se conocía acerca de las estrellas binarias, y parecía razonable suponer que concordase también en el caso de las estrellas sencillas. Por consiguiente, cuando se conoce la luminosidad de una estrella y ésta no pertenece a una clase estelar excepcional (de estas clases excepcionales tendremos algo que decir más adelante en este libro), también nos será conocida su masa.

La ley de masa-luminosidad de Eddington establece unos límites superior e inferior para la masa. Si una estrella tiene una masa excesiva, la temperatura necesaria para impedir que la atracción gravitatoria provoque su colapso o hundimiento hacia el centro es tan alta que la estrella simplemente estalla en una gigantesca explosión. En realidad, aquellas estrellas que tienen una masa considerablemente mayor que la del Sol, pero no tan grande que impida que se mantengan enteras durante algún tiempo, corren el peligro de explotar en alguna etapa de su historia.

Por otra parte, si la masa de una estrella es inferior a cierto valor crucial, su temperatura en el centro nunca alcanza el valor necesario para que llegue a irradiar luz. En tal caso, no se trata realmente de una estrella, sino de un cuerpo oscuro, cuya superficie permanece fría.

La estrella de mayor masa observada hasta ahora parece que es HD 47129 (la que ocupa el puesto 47.129 en el catálogo de Henry Draper), que parece tener una masa unas 140 veces mayor que la del sol. En realidad, se trata de una binaria formada por dos estrellas, cada una de ellas con una masa unas 70 veces mayor que la del Sol. Su gran masa fue puesta de manifiesto por primera vez en 1922 por el astrónomo canadiense John Stanley Plaskett.

La estrella de menos masa que conocemos es Ross 614B, que aparece incluida en la tabla 23. Por lo menos, éste es el cuerpo de menor masa que se puede detectar gracias a su luz propia.

Dentro de nuestro sistema solar, conocemos muchos objetos con masas menores, que podemos observar gracias a la luz solar que reflejan, aun cuando no son suficientemente grandes para desarrollar una temperatura que les haga brillar con luz propia. Así, Júpiter, el planeta más grande de nuestro sistema, tiene aproximadamente 0,001 de la masa del Sol, 0 1/80 de la de Ross 614B. Brilla únicamente con luz reflejada, y si no estuviera cerca de una estrella sería imposible verlo.

Tanto nuestro Sol como las dos estrellas principales del sistema Alpha Centauri se hallan cómodamente situados entre estos límites. Alpha Centauri C se halla cerca del límite inferior.

Velocidad transversal

Una vez que se determinó la distancia de las estrellas más próximas, fue posible hacer algo más con el movimiento propio. Generalmente, estos movimientos se miden en segundos de arco por año; pero si se conoce la distancia de una estrella determinada, los astrónomos pueden calcular qué velocidad en kilómetros por segundo sería necesaria para producir a esa distancia el movimiento propio observado.

En realidad, todas las estrellas se mueven, *incluido el Sol*.

Las estrellas que nos rodean, incluido el Sol, forman todas parte de un gigantesco sistema de forma lenticular, que incluye a más de cien mil millones de estrellas. Lo que vemos en el firmamento como una banda débilmente luminosa, la Vía Láctea, es en realidad un conglomerado de estrellas muy distantes y débiles, que representa lo que vemos cuando miramos a través de la lente de estrellas en el sentido de mayor longitud. El sistema lenticular de estrellas recibe el nombre de "Galaxia", derivado de una palabra griega que significa "leche". Algunas veces se la llama galaxia de la Vía Láctea, para identificar de cuál se trata, ya que hay otras muchas galaxias además de la nuestra.

Tanto nuestro Sol como las demás estrellas de las que hemos venido hablando en este libro (con la excepción de S Doradus) se encuentran en una pequeña región de la Galaxia situada a 9.200 parsecs (30.000 años luz) del centro (véase la figura 4). Nuestro Sol y todas las demás estrellas de su vecindad se desplazan alrededor de dicho centro en una inmensa órbita en la que invierten 230 millones de años para dar una vuelta completa. Las estrellas próximas a nosotros giran alrededor del centro galáctico a una velocidad de unos 220 kilómetros por segundo.

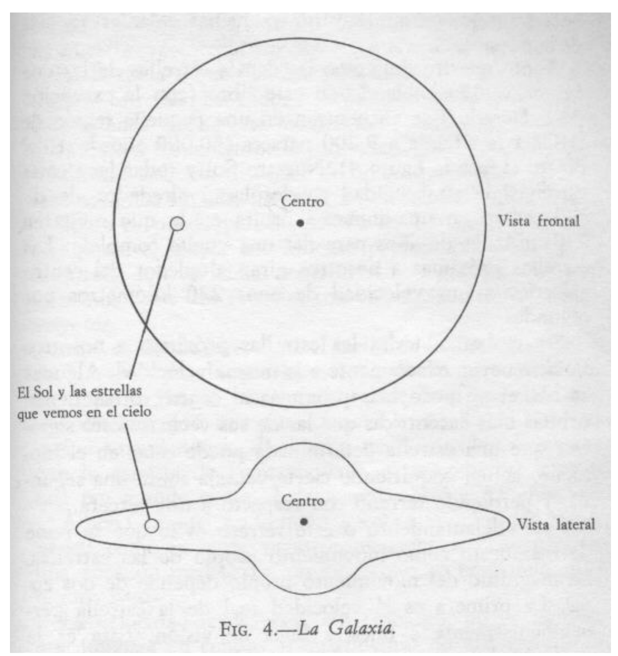


FIG. 4.—*La Galaxia.*

Sin embargo, todas las estrellas próximas a nosotros no se mueven exactamente a la misma velocidad. Algunas se hallan un poco más próximas al centro, otras tienen órbitas más excéntricas que las de sus vecinas. Esto significa que una estrella determinada puede estar en el momento actual adquiriendo cierta ventaja sobre una segunda, y perdiendo terreno con respecto a una tercera.

Este adelantamiento o este retraso es lo que se pone de manifiesto como movimiento propio de las estrellas. La magnitud del movimiento propio depende de dos cosas. La primera es la velocidad real de la estrella perpendicularmente a nuestra línea de visión. Esta es la "velocidad transversal". La segunda es la distancia de la estrella. Si dos estrellas se están moviendo con la misma velocidad transversal y una de ellas se encuentra mucho más lejana que la otra, la más alejada parece moverse mucho más lentamente y tener un movimiento propio mucho menor. Sin embargo, una vez que determinamos la distancia, la velocidad transversal es la única incógnita que queda, y se puede calcular fácilmente.

Para asignar un valor real a la velocidad transversal, lo lógico es suponer que nuestro Sol está inmóvil y entonces calcular la velocidad con respecto a nosotros. Podemos entonces ver con qué rapidez o lentitud nos está adelantando (o se está quedando detrás de nosotros) una estrella determinada, mientras ambos nos precipitamos en nuestra trayectoria alrededor del centro galáctico.

En la tabla 24 se dan las velocidades transversales de algunas estrellas. En todos los casos, tenemos una estrella determinada que se está moviendo en una dirección dada a través del firmamento. La dirección, sin embargo, sería difícil indicarla sin disponer de un mapa celeste, y podemos pasarnos sin ella. La tabla 24 da sólo las velocidades.

Como se puede ver, la estrella de Barnard, que es la que posee el mayor movimiento propio conocido, no es la estrella con velocidad transversal más grande. Hay por lo menos otras dos estrellas con velocidades transversales mayores.

Aquí es donde interviene el factor de la distancia. Parte de la razón por la que la estrella de Barnard tiene un movimiento propio tan elevado reside en el hecho de que se halla muy próxima a nosotros. La estrella de Barnard está a una distancia de menos de 6 años-luz, mientras que la estrella de Kapteyn, con un movimiento propio casi tan grande como el de aquélla, está a 13 años-luz.

Alpha Centauri, en lo que respecta a la velocidad transversal, como en tantas otras propiedades, se encuentra en una posición media, con un valor que no es ni muy alto ni muy bajo.

La velocidad transversal, sin embargo, no es todo lo que importa en cuanto al movimiento de una estrella, y no representa realmente la velocidad verdadera de la misma con respecto a nosotros. Si el cielo fuese una lejana cúpula sólida y las estrellas se arrastrasen por ella todas a la misma distancia de nosotros, entonces no habría nada más que la velocidad transversal..., pero la cosa no es así. Las estrellas están colocadas en un espacio tridimensional, y pueden estar acercándose o alejándose de nosotros, además de desplazarse transversalmente a nuestra línea de visión.

TABLA 24. -*Velocidad transversal de algunas estrellas*

Estrella	*Velocidad transversal (kilómetros/segundo)*
Estrella de Kapteyn	166
Lacaille 9352	118
Estrella de Barnard	90
61 Cygni	84
Epsilon Indi	77
Lacaille 8760	64
Lalande 21185	57
Wolf 359	54
Luyten 789-6	53
Groombridge 34	49
Luyten 726-8	38
Tau Ceti	33
Alpha Centauri	**23**
Ross 248	23
Ross 128	22
Procyon	20
Ross 614	18
Krüger 60	16
Sirius	16
Epsilon Eridani	15
Ross 154	9

Una estrella puede hallarse más alejada del centro galáctico que nosotros, por ejemplo, pero puede tener una órbita más excéntrica y estar moviéndose en ángulo con nuestra trayectoria para precipitarse hacia un punto más próximo al centro, razón por la que puede estar acercándose a nosotros. O bien puede estar desplazándose hacia el exterior,

hacia una distancia del centro galáctico mayor de la que nosotros podremos alcanzar jamás, y puede estar alejándose de nosotros por esa causa.

El movimiento de una estrella acercándose o alejándose de nosotros se llama "velocidad radial", nombre procedente de la palabra latina que designa el radio de una rueda. (Es como si nos imagináramos situados en el cubo de la rueda y la estrella se aproximase o se alejase a lo largo del radio.)

Si queremos conocer la velocidad real de una estrella, hemos de conocer su velocidad radial.

Supongamos que dos estrellas se están moviendo a la misma velocidad, pero una lo está haciendo en forma completamente perpendicular a nuestra línea de visión, mientras que la otra se mueve radialmente (acercándose o alejándose directamente de nosotros). La estrella que se está moviendo completamente perpendicular a nuestra línea de visión está cambiando su posición en el cielo, y detectamos este cambio como movimiento propio. La otra estrella, a pesar de estar animada de la misma velocidad, se acerca o se aleja a lo largo de nuestra visual y no parece cambiar de posición en el cielo, de modo que no percibimos ningún movimiento propio.

La mayoría de las estrellas no se mueven completamente perpendiculares a nuestra línea de visión, ni tampoco en forma perfectamente radial, acercándose o alejándose. Se desplazan en alguna dirección intermedia, y percibimos parte de su movimiento como movimiento propio. Cuanto más se aproxime su dirección a la perpendicular a nuestra línea de visión, más grande es la fracción de su movimiento que percibimos como movimiento propio. Sin embargo, si no conocemos su velocidad radial *además* de la transversal, no podemos calcular qué grado de inclinación u oblicuidad hay en el movimiento de una estrella, ni a qué velocidad se desplaza realmente con respecto a nosotros.

¿Cómo podemos detectar el movimiento radial?

Una forma, tal vez, podría ser estudiar el brillo aparente de una estrella determinada. A medida que ésta se acerca a nosotros, iría haciéndose más brillante; a medida que se alejase, se haría más débil. Sin embargo, estos cambios serían extremadamente lentos, y podrían hacer falta muchos miles de años para que el movimiento radial fuese apreciable.

¿Hay alguna otra forma en que podamos detectar la velocidad radial?

Efectivamente, la hay. A mediados del siglo XIX se ideó y se perfeccionó un método para hacerlo, pero para explicar cómo funciona tendremos que volver atrás un poco.

6. La luz estelar

Líneas espectrales

En 1666, el científico inglés Isaac Newton descubrió que era posible hacer que un haz de luz solar a través de un triángulo de vidrio llamado prisma y, en esa forma, esparcir el haz de luz formando una franja o banda, a lo largo de la cual aparecían distintos colores en un orden determinado: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Cada color se fundía gradualmente con el inmediato, sin que existieran unos límites nítidos o bruscos.

Al parecer, la luz del Sol, aunque la viésemos blanca, era una mezcla de luces de muchos colores distintos. Esos colores se podían separar, y también volverse a juntar para formar luz blanca de nuevo. Newton llamó "espectro" a la banda o franja de colores".

En 1803, el científico inglés Thomas Young realizó experimentos que demostraron que la luz estaba constituida por diminutas ondas, cada una de las cuales tenía una longitud inferior a una millonésima de metro. La luz de una "longitud de onda" determinada es desviada de su trayectoria ("refractada") al pasar por el prisma. Cuando más corta es la longitud de onda, mayor es la refracción que experimenta.

La luz blanca, como la del Sol, es una mezcla de muchísimas longitudes de onda, y éstas quedan separadas y clasificadas al atravesar un prisma. En el espectro, las longitudes de onda quedan alineadas en orden, con las longitudes de onda mayores (rojo) en un extremo, las más cortas (violeta) en el otro, y las longitudes intermedias en el espacio comprendido entre ambos. Las diferentes longitudes de onda afectan a nuestros ojos en formas distintas, que son interpretadas en el cerebro como diferentes colores. Esta es la razón por la que vemos el espectro como una banda de colores.

Sin embargo, la luz del Sol no contiene todas las longitudes de onda que son posibles. Faltan algunas. En el método que utilizó Newton para conseguir el espectro, la separación de las longitudes de onda no era muy eficiente. Había tanto solape que las longitudes de onda que faltaban estaban enmascaradas por la luz de las longitudes de onda inmediatas en cualquiera de las dos direcciones.

Luego, en 1814, el físico alemán Joseph von Fraunhofer hizo pasar la luz a través de una estrecha ranura antes de dejarla atravesar el prisma. El resultado fue que se formó la imagen de la ranura en luz de cada longitud de onda, y las diferentes longitudes de onda quedaban separadas mucho más nítidamente de lo que había sido posible hasta entonces.

Dondequiera que faltaba una longitud de onda en la luz solar, había una imagen oscura de la ranura...; una línea oscura que aparecía en medio de todas las líneas brillantes que se fundían unas con otras para formar una banda continua. Fraunhofer descubrió casi seiscientas de estas "líneas espectrales" y marcó las más destacadas con las letras de la A a la K.

Esas líneas espectrales aparecían siempre en los mismos puntos y con las mismas separaciones en el espectro solar, puesto que eran siempre las mismas longitudes de onda de la luz las que faltaban. Los astrónomos podían obtener croquis detallados de estas líneas, situarlos en su posición exacta y determinar exactamente qué longitudes de onda faltaban.

En 1842, un científico austriaco llamado Christian Johann Doppler se hallaba trabajando en un problema que parecía no tener nada que ver con las líneas espectrales.

Estaba interesado en el hecho de que un sonido determinado cambiaba de tono si el objeto que lo estaba produciendo se hallaba en movimiento.

El silbato de un tren, por ejemplo, tenía un cierto tono si el tren se encontraba inmóvil. Si el tren se estaba aproximando al observador, el silbato le sonaba a éste con un tono más alto, aun cuando para los pasajeros del tren, que se movían con el silbato, no parecía haber cambio alguno. Del mismo modo, si el tren se estaba alejando del observador, el pitido le parecía a éste de un tono más bajo, mientras que para los viajeros, que se desplazaban con el silbato, tampoco ahora parecía haber cambio alguno.

Finalmente, si el tren se acercaba al observador, pasaba ante él, y se alejaba a continuación, el tono del silbato caería de alto abajo en el momento del paso ante el observador.

Doppler comprobó todo esto muy cuidadosamente. Finalmente, decidió que la causa de las variaciones del tono dimanaba del hecho de que el sonido está formado por ondas, y que el tono dependía de la longitud de éstas. Las longitudes de onda de sonido cortas producían el efecto de un tono alto, y las longitudes de onda largas producían el efecto de un tono bajo. (Cuando se canta la escala musical desde las notas bajas a las altas, se producen ondas sonoras que son cada vez más cortas. Cuando se hace una escala descendente, se van produciendo cada vez más largas.)

Supongamos que algo que está produciendo un sonido viene acercándose a nosotros. Las ondas de sonido que se emiten hacia nosotros serán más cortas de lo que serían si la fuente del sonido permaneciese inmóvil. El objeto que se aproxima le come algo de terreno a cada longitud de onda antes de emitir la siguiente. Esta es la razón de que el tono sea más alto para un sonido que se acerca que para ese mismo sonido si permanece inmóvil.

Si la fuente del sonido se aleja de nosotros, cada onda de sonido se envía desde una posición más alejada, de modo que la onda resulta un poco más larga de lo que sería si la fuente sonora permaneciese inmóvil. Por esa razón, el tono de un sonido que se aleja es más bajo de lo que sería si la fuente de ese mismo sonido estuviese quieta.

A causa de esta explicación, el cambio de tono debido al movimiento recibe el nombre de "efecto Doppler".

Unos años más tarde, el científico francés Armand Hippolyte Louis Fizeau indicó que el efecto Doppler se podría aplicar también a la luz, puesto que ésta es un fenómeno ondulatorio, o formado por ondas. Razonaba que si una fuente de luz se nos estuviese acercando, todas las longitudes de onda se harían más cortas. Por consiguiente, una línea oscura del espectro se desplazaría hacia el extremo de éste, y habría un "corrimiento hacia el violeta".

Si la fuente luminosa se estuviese alejando de nosotros, todas las longitudes de onda se harían más largas. Por lo tanto, una línea oscura del espectro se desplazaría hacia el extremo de éste, correspondiente a las longitudes de onda largas, y habría un "corrimiento hacia el rojo".

En lo que respecta a la luz, este cambio de la longitud de onda debido al movimiento de la fuente se conoce a veces como el efecto "Doppler-Fizeau".

Aunque el Sol fue el primer objeto del que se obtuvo el espectro, podía usarse para ello cualquier otra fuente de luz. La luz de la Luna, la de los planetas, la de un fuego ordinario, todas ellas podrían producir un espectro.

Naturalmente, lo que más interesaba a los astrónomos eran los espectros producidos por estrellas, los espectros estelares. Mediante un telescopio, se podía enfocar a luz

producida por una estrella, y hacerla pasar por un dispositivo llamado espectroscopio, que produciría un espectro. Claro está que las estrellas eran débiles en comparación con el Sol, y al esparcir la luz procedente de ellas para formar un espectro se debilitaba aún más.

Al principio sólo se pudo conseguir que produjeran espectros visibles las estrellas más brillantes. En 1868, el astrónomo inglés William Huggins estudió el espectro de la estrella Sirius. También en él había líneas oscuras.

En el débil espectro de Sirius sólo se podían ver unas cuantas líneas oscuras, pero formaban la misma pauta de distribución que algunas de las más destacadas del espectro solar. La única diferencia era que las líneas del espectro de Sirius estaban en una longitud de onda un poquitín más larga que las del espectro solar. Había un pequeño corrimiento hacia el rojo, y Huggins se dio cuenta de que esto era porque Sirius se estaba alejando de nosotros. Fue la primera observación de un efecto Doppler-Fizeau en conexión con las estrellas y significaba que, por primera vez, se había detectado la velocidad radial de una estrella.

Velocidad radial

¿Sería posible estudiar también el espectro de las estrellas más débiles?

En la década de 1840 se inventó la fotografía. Los astrónomos aprendieron a enfocar sobre una placa fotográfica la luz de los cuerpos celestes y a tomar fotografías de los mismos. Naturalmente, el Sol y la Luna fueron los primeros objetos que se fotografiaron, pero luego siguieron las estrellas.

En 1850, el astrónomo norteamericano George Phillips Bond tomó la fotografía de la estrella Vega, y en el año 1857 fotografió a Mizar. En 1863, Huggins fue el primero que fotografió un espectro estelar, captando los de Sirius y Capella. Estas dos primeras fotografías de espectros estelares eran sin embargo demasiado débiles y borrosas para que se pudiesen apreciar detalles.

No obstante, la técnica de la fotografía fue mejorando con los años, y demostró poseer algunas grandes ventajas sobre la sola observación visual.

Cuando la luz incide en la retina del ojo, no se acumula en ella. Si un objeto es demasiado poco luminoso para que pueda verse, la contemplación prolongada del lugar que ocupa no logrará hacerlo visible. Seguirá siendo demasiado débil para ello. En cambio, una placa fotográfica acumula los cambios químicos producidos por la luz. Un objeto poco luminoso puede no enviar suficiente luz para afectar inmediatamente en forma visible a la placa fotográfica; pero, si se espera un tiempo suficiente, los efectos de la luz se van acumulando y aumentando. Como resultado de ello, las exposiciones largas permiten que la placa fotográfica tome fotografías de objetos demasiado débiles para poder verlos sin recurrir a esta técnica. Y, además, la fotografía constituye un registro o testimonio permanente.

Llegado el momento, la fotografía permitió estudiar grandes números de espectros estelares con el detalle suficiente para detectar minúsculos corrimientos en las líneas espectrales y determinar la velocidad radial.

El estudio de la velocidad radial resultó mucho más útil que el de la velocidad transversal. Esta se puede detectar sólo en las estrellas más próximas, mientras que la

velocidad radial se puede detectar en cualquier objeto, por lejano que esté. Se ha detectado la velocidad radial de los objetos más distantes del universo, y ello nos ha proporcionado importantes informaciones acerca del universo como conjunto, las cuales no se podrían haber determinado en ninguna otra forma.

Por lo que respecta a las estrellas más próximas, cuyas velocidades transversales están relacionadas en la tabla 24, se han determinado también sus velocidades radiales, que se dan en la tabla 25. Un signo positivo (+) indica un movimiento radial de aproximación hacia nosotros; un signo negativo (-), un movimiento radial de alejamiento de nosotros.

TABLA 25. -*Velocidad radial de algunas estrellas próximas*

Estrella	*Velocidad radial (kilómetros/segundo)*
Estrella de Kapteyn	+ 242
Luyten 726-8	+ 29
Ross 614	+ 24
Lacaille 8760	+ 23
Epsilon Eridani	+ 15
Groombridge 34	+ 14
Wolf 359	+13
Lacaille 9352	+ 10
Procyon	- 3
Ross 154	- 4
Sirius	- 8
Ross 128	- 13
Tau Ceti	- 16
Krüger 60	- 24
Alpha Centauri	**- 25**
Epsilon Indi	- 60
61 Cygni	- 64
Ross 248	- 81
Lalande 21185	- 86
Estrella de Barnard	- 108

Si se conocen las dos velocidades, la radial y la transversal, es posible combinarlas para resolver la dirección verdadera del movimiento, y calcular la velocidad real o "espacial". Esta es la velocidad real de la estrella con respecto a nosotros en alguna dirección que no es ni transversal ni radial, sino una combinación de ambas.

La velocidad espacial de aquellas estrellas de la tabla 25 que se acercan a nosotros se recogen en la tabla 26; la de aquellas estrellas de la tabla 25 que se alejan de nosotros, en la tabla 27.

No hemos de inferir, basándonos en estas últimas tablas, que algunas estrellas son rápidas mientras que otras son lentas. Las velocidades indicadas en ellas están calculadas con respecto al Sol, de modo que una estrella "lenta" es solamente una cuya velocidad es muy parecida a la del Sol, mientras que una "rápida" es aquella cuya velocidad difiere mucho de la del Sol.

Además, la visión de las estrellas precipitándose a través del espacio a decenas y centenares de kilómetros por segundo no debe suscitar en nosotros el pensamiento o temor de colisiones.

Imaginemos al Sol como una pequeña esfera de un centímetro de diámetro. A esa escala, Alpha Centauri A sería otra pequeña esfera del mismo tamaño situada a 300 kilómetros de distancia. Alpha Centauri B estaría orbitando alrededor de Alpha Centauri A a una distancia de 25 metros, y Alpha Centauri C estaría a unos 7 kilómetros de las dos estrellas más brillantes.

TABLA 26. -*Velocidad espacial de algunas estrellas que se acercan al Sol*

Estrella	*Velocidad espacial (kilómetros/segundo)*
Estrella de Kapteyn	294
Epsilon Eridani	212
Lacaille 9352	119
Lacaille 8760	68
Wolf 359	56
Groombridge 34	51
Luyten 726-8	48
Ross 614	30

TABLA 27. -*Velocidad espacial algunas estrellas que se alejan*

Estrella	*Velocidad espacial (kilómetros/segundo)*
Estrella de Barnard	141
61 Cygni	106
Lalande 21185	103
Epsilon Indi	98
Ross 248	84
Alpha Centauri	**37**
Tau Ceti	37
Krüger 60	26
Ross 128	26
Procyon	20
Sirius	18
Ross 154	10

En otras palabras, si en esta pequeña escala imaginásemos al Sol y sus planetas situados en la ciudad de Nueva York, las tres estrellas del sistema Alpha Centauri estarían en Worcester, Massachusetts, o en sus inmediaciones.

Es más, si redujéramos las velocidades en la misma forma en que hemos reducido el tamaño, resultaría que estas pequeñas esferas se estarían separando entre sí a razón de 2 cm diarios. Esto nos da una idea de las inmensas distancias que separan a las estrellas, y de la lentitud de sus velocidades en comparación con estas distancias. Las probabilidades de colisiones son tan pequeñas que se puede hacer caso omiso de ellas.

A la velocidad a que Alpha Centauri se aleja de nosotros, harían falta cien mil años para que doblase la distancia que nos separa y se redujere a la categoría de estrella de segunda magnitud. Supongamos, sin embargo, que invertimos el esquema temporal. Si se

está alejando de nosotros, ello significa que en el pasado estuvo más próxima y, si imaginamos que vamos hacia atrás en el tiempo, se nos estaría acercando. Naturalmente, no se nos estaría acercando directamente, sino que se movería a cierto ángulo, y nunca colisionaría con nosotros. En lugar de ello, se desplazaría pasando a nuestra altura, alcanzaría un lugar donde estaría lo más cercana posible, y luego, si retrocediéramos suficientemente en el tiempo, se estaría alejando nuevamente de nosotros.

En el punto de máxima aproximación, hace mucho, muchísimo tiempo, Alpha Centauri estuvo a sólo 3 años-luz de nosotros, en comparación con los 4,4 años-luz actuales. Entonces aparecía 2,14 veces más brillante que ahora. Su magnitud entonces era -1,10, no tan brillante como lo es Sirius en la actualidad. Y, desde luego, Sirius, que también se está alejando de nosotros, en el pasado estuvo más cerca y fue más brillante. Así que Alpha Centauri nunca fue la estrella más brillante de nuestro cielo, ni siquiera en el tiempo de su máxima aproximación.

El corrimiento de las líneas espectrales informó a los astrónomos de más cosas, aparte de su simple aproximación o alejamiento.

En 1889, el astrónomo norteamericano Edward Charles Pickering observó que las líneas espectrales de Mizar eran dobles. De cada par de líneas, una se estaba desplazando hacia el rojo y otra hacia el violeta. Tras algún tiempo, ambas cambiaron simultáneamente de dirección, se aproximaron entre sí, se cruzaron, y así sucesivamente.

Parecía que parte de la estrella se estaba alejando mientras que otra parte se acercaba. A continuación parecían cambiar sus papeles, ya que la parte que se había estado alejando se acercaba, y la que se había estado aproximando se alejaba. Luego cambiaban de nuevo sus movimientos, y así sucesivamente.

La explicación lógica parecía ser que había dos estrellas, tan próximas entre sí que ni siquiera los mejores telescopios eran capaces de separarlas. A medida que orbitaban cada una alrededor de la otra, una estaría acercándose a nosotros, mientras que la otra se alejaba. Luego, cuando había descrito media vuelta, la que se había estado acercando se alejaba, y viceversa.

Este tipo de sistema de dos estrellas, que se puede detectar mediante el espectroscopio, pero no con el telescopio en la forma ordinaria, recibe el nombre de "binaria espectroscópica". En el caso de Mizar, que es una "binaria visual" -un objeto que en un telescopio se puede ver como dos estrellas, Mizar A y Mizar B-, Mizar A es, a su vez, una binaria espectroscópica.

Las dos estrellas del sistema binario espectroscópico de Mizar A están a una distancia de 164.000.000 kilómetros entre sí, una distancia muy similar a la que separa a la Tierra del Sol. A la distancia de 80 años-luz a que se encuentra Mizar, esto representa una separación de 0,04 segundos de arco, demasiado pequeña para poderse distinguir mediante el telescopio. Las dos estrellas de Mizar A orbitan cada una alrededor de la otra en un período de 20,5 días.

Las binarias espectroscópicas son bastante corrientes, y son muchas las que se han descubierto. Algunas están mucho más próximas entre sí que las dos estrellas de Mizar A. Dos estrellas pueden estar separadas por menos de un millón de kilómetros, casi tocándose, girando una alrededor de otra en cuestión de horas.

En el caso del sistema binario de Alpha Crucis, las dos componentes, Alpha Crucis A y Alpha Crucis B, son binarias espectroscópicas, de modo que Alpha Crucis es un sistema de cuatro estrellas.

En el caso del sistema de Cástor, no sólo son Cástor A y Cástor B una binaria espectroscópica cada una, sino que hay una compañera distante y más débil, Cástor C, que es *también* una binaria espectroscópica. Así pues, Cástor es un sistema de seis estrellas.

El espectroscopio nos puede decir también lo que *no es* una binaria espectroscópica. Podemos decir, mediante la inspección telescópica ordinaria, que Alpha Centauri es un sistema de tres estrellas. ¿Es cualquiera de las tres una binaria espectroscópica? Alpha Centauri A, B y C *no* poseen compañeras muy próximas y, por lo tanto, se queda en un sistema de tres estrellas.

Clases espectrales

Una vez que se empezaron a estudiar los espectros estelares, se observó que no todos eran semejantes. Muchos diferían del espectro solar, y también unos de otros. En 1867, el astrónomo italiano Pietro Angelo Secchi sugirió dividir los espectros en cuatro clases, tomando como base sus diferencias de aspecto; por ejemplo, el número y las clases de líneas presentes en ellos.

A medida que se estudiaron más y más espectros, y cada vez en forma más detallada, se vio rápidamente que cuatro clases no eran suficientes para describir la situación. En la década de 1890, y en gran medida gracias al trabajo de la astrónoma norteamericana Annie Jump Cannon, se estableció un sistema más detallado, en el que las clases se identificaban por letras del alfabeto.

Resultó que si las distintas clases de espectros se colocaban en lo que parecía una especie de orden natural -en el que ciertas líneas se iban debilitando progresivamente y siendo menos prominentes al pasar de una clase a otra, mientras que otras iban haciéndose más fuertes y destacadas-, entonces las letras del sistema de Cannon quedaban dispuestas en el orden siguiente:

O, B, A, F, G, K, M, R, N, S

De estos tipos, los O, R, N y S son muy raros. Generalmente, las estrellas de que nos ocupamos pertenecen a las clases B, A, F, G, K y M, usualmente relacionadas en este orden.

En la transición de una clase espectral a la siguiente pueden detectarse diversas subclases, y se ha adoptado la costumbre de subdividir cada clase en diez subclases, numeradas del 0 al 9.

El espectro G típico podría considerarse que es, por ejemplo, el G0. cabría entonces hacer una ordenación de espectros que mostrasen rasgos cada vez más fuertes de la clase espectral siguiente, pasando por la G1, G2, G9 sería casi un K, y el paso siguiente sería, desde luego, el K0. la clasificación espectral de las estrellas brillantes se da en la tabla 28, y la de las estrellas próximas en la tabla 29.

Temperatura

¿Qué significan las distintas clases espectrales? ¿Por qué algunos espectros son diferentes de otros? En fecha ya tan lejana como 1859, dos científicos alemanes, Robert Wilhelm Bunsen y Gustav Robert Kirchhoff, habían indicado que las líneas de los espectros eran determinadas longitudes de onda emitidas o absorbidas por ciertas clases de átomos.

Según ello, cada clase de átomo emitía o absorbía un conjunto o juego particular de longitudes de onda. No había dos clases de átomos que emitiesen o absorbiesen la misma longitud de onda.

TABLA 28.-*Clasificación espectral de algunas estrellas brillantes*

Estrella	*Clasificación espectral*
Beta Centauri	B1
Alpha Vía	B1
Spica	B2
Achernar	B5
Rigel	B8
Regulus	B8
Sirius	A0
Vega	A0
Deneb	A2
Fomalhaut	A3
Altair	A5
Canopus	F0
Procyon	F5
Capella	G0
Alpha Centauri	G2
Arcturus	K0
Pollux	K0
Aldebaran	K5
Antares	M1
Betelgeuse	M2

Ello significaba que, si se calentaba cualquier sustancia hasta que emitiese luz que se pudiera descomponer formando un espectro, por las líneas de éste sería posible determinar las diversas clases de átomos distintos (los diversos elementos) que se hallasen presentes en la sustancia en cuestión. Este fue el comienzo del análisis espectroscópico. En 1859 y 1860, Bunsen y Kirchhohff pudieron descubrir dos nuevos elementos, el cesio y el rubidio, mediante el calentamiento de ciertos minerales y la localización de líneas espectrales que no correspondían a ningún elemento conocido.

¿No se podría hacer lo mismo con el Sol y las estrellas? ¿No indicarían las líneas de sus espectros la presencia en su interior de determinados elementos? En 1862, por ejemplo, el físico sueco Anders Jonas Angström pudo demostrar la existencia del elemento hidrógeno en el Sol, gracias a las líneas del espectro de éste.

En 1868, el astrónomo francés Pierre Jules César Janssen detectó en el espectro solar líneas que no correspondían a ningún elemento conocido. Envió un informe acerca de

ello al astrónomo inglés Joseph Norman Lockyer, experto en espectros. Lockyer pensó que se trataba de un nuevo elemento, al que llamó helio, nombre derivado de la palabra griega que designa al Sol. (Todavía hubieron de transcurrir casi tres años hasta que se descubrió el helio en la Tierra.)

¿Podría ocurrir entonces que diferentes estrellas estuvieran compuestas de distintos elementos, y que las estrellas con un tipo determinado de composición fuesen más brillantes que las otras?

TABLA 29.-*Clasificación espectral de algunas estrellas más próximas*

Estrella	*Clasificación espectral*
Sirius A	A1
Sirius B	A5
Procyon A	F5
Alpha Centauri A	**G2**
Tau Ceti	G8
Epsilon Eridani	K2
Epsilon Indi	K5
61 Cygni B	K7
Groombridge 34ª	M1
Lalande 21185	M2
Sigma 2398ª	M3
Sigma 2398B	M4
Ross 128	M5
Ross 154	M5
Estrella de Barnard	M5
Alpha Centauri C	**M5**
Wolf 359	M6
Luyten 726-8ª	M6
Luyten 726-8B	M6
Ross 248	M6
Luyten 789-6	M6
Groombridge 34B	M6

Lockyer pensaba de otra manera. Creía que las estrellas tenían, en líneas generales, posiciones parecidas. Lo que hacía que los espectros presentasen diferencias sería la temperatura. Aunque las diversas líneas significaban diversos elementos, las líneas podían cambiar sus distribuciones o pautas al calentarse los elementos a diferentes temperaturas.

La sugerencia de Lockyer resultó acertada. En el laboratorio, a medida que se calentaban las sustancias a temperaturas cada vez mayores, cambiaban efectivamente sus espectros, y estos cambios llevaron a los astrónomos a equiparar las diversas clases espectrales con diversas temperaturas superficiales de las estrellas.

Por otro lado, el científico alemán Wilhelm Wien demostró en 1893 la forma en que todo el cuadro del espectro cambiaba con la temperatura, y cómo la radiación máxima se situaba en diferentes partes del espectro a medida que la temperatura subía. Esto ayudó también a determinar las temperaturas superficiales de las estrellas.

En la tabla 30 se dan las temperaturas asociadas con las diversas clases espectrales, expresadas en grados centígrados o Celsius (escala en la que el punto de congelación del agua corresponde a los 0°, y el punto de ebullición, a los 100°), y en grados Fahrenheit (escala en la que las cifras correspondientes son 32° para el punto de congelación y 212° para el de ebullición).

Alpha Centauri A es entonces una estrella moderadamente caliente, con una temperatura de casi 6.000° C, y en esto es exactamente igual que nuestro Sol, que también pertenece a la clase espectral G2.

Alpha Centauri B es una estrella más fría, con una temperatura superficial de sólo 4.400° C, y Alpha Centauri C es todavía más fría, con una temperatura superficial de sólo 3.000° C.

TABLA 30.- *Temperaturas de las clases espectrales*

Clase espectral	*Temperatura superficial de las estrellas*	
	° Celsius	*° Fahrenheit*
O5	35.000	60.000
B0	22.000	40.000
B5	14.000	25.000
A0	11.000	20.000
A5	8.300	15.000
F0	7.200	13.000
F5	6.700	12.000
G0	6.100	11.000
G5	5.600	10.000
K0	5.000	9.000
K5	4.500	8.000
M0	3.900	7.000
M5	2.800	5.000

7. Tamaño y cambios

Gigantes rojas y enanas blancas

En general, cuanto más caliente es una estrella, más brillante es también. No es sorprendente, por tanto, que tantas de las estrellas más brillantes del firmamento sean más calientes que el Sol, ni que tantas de las estrellas débiles u oscuras que vemos sean más frías que el Sol.

Lo que sí sorprende es que algunas estrellas son frías y, sin embargo, son muy brillantes. Los dos ejemplos principales de esto los constituyen Antares y Betelgeuse. Ambas pertenecen a la clase espectral M y, por lo tanto, poseen una temperatura superficial de sólo 3.000 °C, o similar, y, lo que es más, ninguna de las dos está particularmente cerca de nosotros, a pesar de lo cual figuran entre las estrellas más brillantes del firmamento.

El astrónomo danés Ejnar Hertzsprung pensó en 1905 que una estrella fría ha de tener una superficie poco brillante, pero que si su superficie fuera muy grande, el pequeño brillo de cada parte de ella se uniría o sumaría, contribuyendo a un gran brillo *total*. En otras palabras, una estrella brillante, fría y de color rojizo, tenía que ser una estrella realmente muy grande para ser brillante.

Hertzsprung publicó esta idea en una revista de fotografía, y los astrónomos no se apercibieron de ella. Posteriormente, en 1914, el astrónomo norteamericano Henry Norris Russel llegó por su cuenta a la misma idea, que fue aceptada y permaneció; generalmente, se atribuye el mérito de ella a los dos astrónomos.

El razonamiento de Hertzsprung-Russell condujo al concepto de las "gigantes rojas" entre las estrellas. Cuando se intentó calcular el tamaño que habrían de tener estas gigantes rojas para ser tan brillantes como eran, a pesar de su baja temperatura superficial, los resultados parecieron casi increíbles. En 1920, sin embargo, el físico germano-norteamericano Albert Abrahan Michelson pudo comprobarlo directamente.

Para ello utilizó un instrumento que había inventado veinte años antes, al que dio el nombre de interferómetro. Era capaz de medir con gran finura la forma en que dos trenes de ondas luminosas, que no fuesen exactamente paralelos, se interferían mutuamente. Cuando tales trenes de ondas luminosas no eran completamente paralelos, las ondas, al mezclarse, unas veces se reforzaban y otras se atenuaban y cancelaban, dando lugar a unas figuras o diagramas con franjas alternantes de luz y de oscuridad. De los detalles de estas figuras o diagramas de interferencia es posible deducir el ángulo exacto al que se encuentran las ondas luminosas.

Este instrumento se puede aplicar a las estrellas. Una estrella es tan pequeña, vista desde la Tierra, que aparece virtualmente como un punto luminoso. Los rayos de luz procedentes de los bordes opuestos de un punto tan diminuto parecen llegarnos de la misma dirección y, por consiguiente, son casi paralelos; casi, *pero no del todo*. Los rayos de luz proceden de direcciones muy poco diferentes cuando llegan a nosotros desde los lados opuestos de una estrella; convergen sólo un poquitín, pero es lo suficiente para producir un diagrama de interferencia si el interferómetro empleado es suficientemente grande.

Michelson utilizó un interferómetro de veinte pies (6,1 metros), el más grande que había construido hasta entonces. Lo adaptó al nuevo telescopio de 100 pulgadas (2,54 m) que acababa de entrar en uso en el observatorio de Mount Wilson, en California, y que era a la sazón el mayor telescopio del mundo. Y apuntó este instrumento a la estrella Betelgeuse.

Por la naturaleza del diagrama de interferencia, Michelson pudo determinar el diámetro aparente de Betelgeuse. Resultó que tenía 0,045 segundos de arco. Esta es una anchura muy pequeña, ya que haría falta 41.500 puntitos de luz rojiza exactamente iguales a Betelgeuse, puestos uno al lado de otro, para obtener la anchura de la Luna

Sin embargo, Betelgeuse tiene el mayor diámetro aparente de todas las estrellas. Cualquier estrella que tenga un tamaño real mayor que el de Betelgeuse está tan lejana que su tamaño aparente es menor. Al mismo tiempo, cualquier estrella que esté más cercana que Betelgeuse tiene un tamaño real tan inferior al de ésta que su tamaño aparente nunca llega a igualar al de Betelgeuse.

Para tener 0,045" de diámetro, por diminuto que sea este ángulo, Betelgeuse ha de tener un diámetro real verdaderamente enorme, pues la distancia a que está es inmensa. En efecto, resulta que el diámetro de Betelgeuse es, como mínimo, 800 veces mayor que el del Sol.

El resultado dado por el interferómetro demostró que el razonamiento de Hertzsprung y Russel era correcto y que había realmente gigantes rojas, sin que Betelgeuse, con ser tan grande, sea la más grande de todas. En la tabla 31 se dan los diámetros de algunas de las estrellas gigantes.

Eliminado:

TABLA 31. -*Estrellas gigantes*

Estrella	*Diámetro*	
	Millones de kilómetros	*Sol = 1*
Epsilon Aurigae B	2.800	2.000
VV Cephei A	1.700	1.400
Betelgeuse	1.100	800
Mira (Omicron Ceti)	550	400
Antares	550	400
Xi Aurigae A	420	300
Epsilon Aurigae A	280	200
Beta Pegasi	150	110
Aldebaran	61	44
Arcturus	37	27

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Las grandes gigantes rojas resultan ser objetos verdaderamente impresionantes. Supongamos a Betelgeuse colocada en el lugar de nuestro Sol. No podríamos verla desde la Tierra, porque no habría Tierra. El lugar teórico de la Tierra estaría *dentro* de Betelgeuse. El diámetro de ésta es tan grande que, si se sustituyera al Sol por ella, incluiría las órbitas de Mercurio, Venus, la Tierra, Marte y Júpiter.

Epsilon Aurigae B llegaría aún más lejos. Se tragaría también la órbita de Saturno, y su superficie estaría aproximadamente en la órbita de Urano. Es más, esta supergigante, Epsilon Aurigae B, forma parte de un sistema binario cuya otra estrella, Epsilon Aurigae A,

es considerablemente menor, pero todavía bastante grande para tragarse la órbita de Marte. ¡Qué espectáculo deben de ser esas dos estrellas desde un lugar no demasiado cercano!

Otra forma de destacar el tamaño de las gigantes rojas sería imaginar una esfera hueca del tamaño de Beta Pegasi, que es una gigante de tamaño sólo moderado. Sin embargo, sería bastante grande para alojar a 1.300.000 objetos del tamaño de nuestro Sol. Una esfera hueca del tamaño de Betelgeuse podría alojar aproximadamente a 43.000.000 de objetos del tamaño del Sol, y una del tamaño de Epsilon Aurigae podría contener a ocho mil millones (8.000.000.000) de soles.

Sin embargo, y a pesar de todo esto, tal vez las gigantes rojas no sean tan impresionantes como lo parecen si juzgamos sólo por su tamaño. Tienen mayor masa que el Sol, pero no mucha más. Betelgeuse podría ocupar 43.000.000 de veces el espacio que ocupa el Sol, pero la masa de la gigante roja es sólo 20 veces mayor que la de éste; contiene sólo 20 veces más materia.

Si la masa de Betelgeuse (no tan inmensa, al fin y al cabo) está repartida en el gigantesco volumen que esta estrella ocupa, esa masa ha de estar muy, muy rarificada.

La densidad media del Sol es 1,41 gramos por centímetro cuadrado, pero la de Betelgeuse es una diezmillonésima de éste. Si el Sol tuviera sólo una densidad igual a la de Betelgeuse, su masa no excedería de 1/30 de la de la Tierra, y sería sólo 2,7 veces mayor que la de la Luna.

Eliminado: con ser tan grande, sea la más grande de todas. En

Epsilon Aurigae B sería todavía menos densa. Las gigantes rojas son acumulaciones de gas muy rarificadas, que se extienden hasta vastísimas distancias y se calientan hasta emitir un fulgor rojizo; pero, juzgando con criterios terráqueos, son casi el vacío. La densidad media de Epsilon Aurigae B es sólo una milésima de la que tiene la atmósfera terrestre, y en sus regiones exteriores la densidad es incluso menor. (Como todos los objetos, las gigantes rojas se hacen más densas al acercarnos a su centro, y en el núcleo pueden llegar a ser verdaderamente muy densas. Esto ha de ser así en todas las estrellas, ya que sólo en un núcleo muy denso se puede iniciar la conflagración nuclear que produce su energía.)

El caso inverso al de las gigantes rojas surgió en conexión con Sirius B. Se sabía que ésta era una estrella muy poco brillante, con una magnitud de 10 y una luminosidad de sólo 1/130 de la de nuestro Sol. Se daba por supuesto que tenía que ser al mismo tiempo pequeña y fría para emitir tan sólo 1/130 de la luz de nuestro Sol.

Sin embargo, en 1915, el astrónomo norteamericano Walter Sydney Adams consiguió obtener el espectro de Sirius B, y halló que esta estrella estaba tan caliente como Sirius A y, por consiguiente, considerablemente más caliente que nuestro Sol.

Sin embargo, si Sirius B estaba tan caliente, su superficie debía resplandecer fieramente con una luz blanquísima, y la única forma en que se podía explicar su débil brillo era suponiendo que tenía muy poca superficie.

Sirius B tenía que tener tan poca superficie que sería una estrella enana, mucho más pequeña de lo que nadie, hasta entonces, concebía que podía ser una estrella. A causa de su altísima temperatura, a la que debía su luz blanca, se la llamó una "enana blanca". Para explicar su débil brillo, su diámetro tenía que de sólo 30.000 kilómetros, de manera que tenía aproximadamente el volumen de un planeta medio, con un tamaño aproximadamente 13 veces mayor que el de la Tierra. Sirius B tiene sólo 1/100 del volumen del planeta grande, Júpiter.

Sin embargo, en el volumen relativamente pequeño de Sirius B hay comprimida tanta masa como en el Sol... cosa que deducimos de la intensidad de su atracción

gravitatoria sobre Sirius A. Si las gigantes rojas tienen densidades muy bajas, las enanas blancas las tienen altísimas. La densidad media de Sirius B es unas 90.000 veces mayor que la del Sol, o 6.000 veces superior a la del platino.

Esto habría parecido ridículo sólo un par de décadas antes, pero en 1915 ya se había descubierto que los átomos estaban formados por "partículas subatómicas" aún menores, estando concentrada casi toda la masa en un minúsculo "núcleo atómico" situado en el centro del átomo. En las enanas blancas, pues, la materia no existía en forma de átomos ordinarios, sino como una caótica mezcla de partículas subatómicas comprimidas hasta estar mucho más juntas de lo que están en los átomos, tal como nosotros las conocemos.

Hay enanas blancas más pequeñas y densas que Sirius B, y en años recientes los astrónomos han descubierto nuevos tipos de estrellas que son mucho más pequeñas aún que las enanas blancas, y, correspondientemente, más densas. Estas son las "estrellas de neutrones", en las que las partículas subatómicas están prácticamente en contacto unas con otras, y en las que la masa de una estrella como nuestro propio Sol estaría comprimida en un diminuto cuerpo de sólo una docena de kilómetros de diámetro.

La secuencia principal

Sin embargo, tanto las gigantes como las enanas son estrellas poco usuales, y bastante raras (en el sentido de escasas o poco abundantes). Las diversas enanas pueden ser aproximadamente el 8 por 100 de las estrellas, y las diversas gigantes el 1 por 100, sobre poco más o menos. Las demás estrellas (90 por 100 o más) son bastante similares al Sol. Algunas son un poco más grandes, más brillantes y menos densas que él, y otras más pequeñas, oscuras y densas, pero, sorprendentemente, no son más brillantes o más débiles; no son ni enormes gigantes ni diminutas enanas.

Estas estrellas semejantes al Sol se pueden ordenar en función de sus temperaturas, desde muy calientes a bastante frías, en la forma determinada por su clase espectral. Sus restantes propiedades forman entonces también una serie o secuencia; es decir, cambian en forma suave y sin sorpresas al ir avanzando desde las calientes a las frías. Descendiendo en esta serie, las estrellas se van haciendo regularmente menos masivas, más oscuras, más frías y más densas.

Dado que esta secuencia o serie incluye a la inmensa mayoría de las estrellas, recibe el nombre de "secuencia principal".

En la tabla 32 se dan algunas de las propiedades de las estrellas de la secuencia principal. Viendo la tabla, podría parecer que las estrellas de la clase G, a la que pertenecen el Sol y Alpha Centauri A, son bastante más pequeñas que el promedio. Las estrellas más grandes de la secuencia principal tienen una masa 32 veces más grande y un diámetro unas 15 veces mayor que el Sol, mientras que éste, a su vez, tiene una masa sólo unas 4 veces mayor que las estrellas más pequeñas de la secuencia principal, y un diámetro unas 2,5 más grande.

Esto sería así si las diversas clases espectrales contuvieran el mismo número de estrellas cada una. Sin embargo no es esto lo que ocurre. Como en todos los grupos de cuerpos astronómicos, los de pequeño tamaño son más numerosos que los grandes. En la tabla 33 se da el porcentaje de las estrellas de la secuencia principal que existe en cada una

de las clases espectrales, junto con el número total de cada clase que existe en nuestra Galaxia. (Nuestra Galaxia contiene un total aproximado de 135.000.000.000 de estrellas, de las cuales 122.000.000.000 pertenecen a la secuencia principal, 12.000.000.000 son enanas y 1.000.000.000 son gigantes.)

Como se ve en la tabla 33, alrededor de un 87 por 100 de las estrellas están en la clase K y en la M y son, por consiguiente, claramente más pequeñas, frías y oscuras que nuestro Sol. Sólo aproximadamente un 4,1 por 100 de las estrellas son claramente más calientes, grandes y brillantes que el Sol. Desde este punto de vista, el Sol y Alpha Centauri A tienen un tamaño bastante superior a la media.

TABLA 32. -*Las estrellas de la secuencia principal*

Clase espectral	*Masa media (Sol = 1)*	*Densidad media (Sol = 1)*	*Diámetro medio Kilómetros*	*Sol = 1*
05	32	0,01	28.000.000	20
B0	16	0,03	12.500.000	9
B5	6	0,10	5.500.000	4
A0	3	0,25	3.000.000	2,2
A5	2	0,4	2.400.000	1,7
F0	1,75	0,5	2.100.000	1,5
F5	1,25	0,7	1.700.000	1,25
G0	1,06	1,0	1.450.000	1,05
G5	0,92	1,3	1.250.000	0,92
K0	0,80	1,6	1.150.000	0,83
K5	0,69	2,4	970.000	0,70
M0	0,48	3,2	830.000	0,60
M5	0,20	15	350.000	0,25

TABLA 33. -*Frecuencia de las clases espectrales*

Clase espectral	*Porcentaje de estrellas*	*Número de estrellas en la Galaxia*
O	0,00002	20.000
B	0,1	100.000.000
A	1	1.200.000.000
F	3	3.700.000.000
G	9	11.000.000.000
K	14	17.000.000.000
M	73	89.000.000.000

Supongamos que a continuación consideramos algunas de las estrellas familiares del cielo, como las de la tabla 34, y que comparamos sus diámetros con el del Sol.

Como puede verse, Alpha Centauri C es muy pequeña para una estrella de la secuencia principal. Tiene sólo unas 0,22 veces la masa del Sol, y unas 0,25 veces su diámetro. Sin embargo, no es la más pequeña de las estrellas conocidas, y en la tabla 34 figura una estrella que nos consta es más pequeña que Alpha Centauri C. Se trata de la Luyten 726-8 B.

Es interesante comparar estas pequeñas estrellas, no con el Sol, sino con Júpiter, el planeta más grande del sistema solar. Podemos ver esta comparación en la tabla 35.

Como se ve, aunque Alpha Centauri C, Luyten 726-8 B y Ross 614 B tienen masas considerablemente mayores que las de Júpiter, son también bastante más densas y, por consiguiente, de tamaño no mucho mayor.

Las enanas rojas están cerca del límite inferior de tamaño y de brillo para una estrella. Un cuerpo celeste no puede ser mucho más pequeño que Ross 614 B sin que llegue a ser incapaz de emitir luz. Del mismo modo, Júpiter se encuentra cerca del límite superior de tamaño para un planeta. Un cuerpo celeste no puede ser mucho más grande que Júpiter sin llegar a ser capaz de emitir luz. Existe en algún punto una región fronteriza entre planeta y estrella, y esa región se halla en masas comprendidas entre la de Júpiter y la de Ross 614 B.

TABLA 34. -*Diámetros de estrellas*

Estrella	*Diámetro*	
	Kilómetros	*Sol = 1*
Beta Centauri	14.000.000	10
Achernar	11.000.000	8
Spica	9.600.000	7
Regulus	6.000.000	4,3
Procyon	2.900.000	2,1
Altair	2.630.000	1,9
Sirius A	2.500.000	1,8
Fomalhaut	2.500.000	1,8
Capella	1.400.000	1,01
Alpha Centauri A	**1.390.000**	**1,00**
Tau Ceti	1.170.000	0,84
Epsilon Eridani	1.060.000	0,76
61 Cygni A	973.000	0,70
Alpha Centauri B	**973.000**	**0,70**
61 Cygni B	903.000	0,65
Estrella de Barnard	360.000	0,25
Alpha Centauri C	**360.000**	**0,25**
Luyten 726-8 B	180.000	0,13
Ross 614 B	120.000	0,08

TABLA 35. -*Estrellas pequeñas y planetas gigantes*

Objeto	*Masa (Júpiter = 1)*	*Diámetro (Júpiter = 1)*
Alpha Centauri C	230	2,4
Luyten 726-8 B	135	1,3
Ross 614 B	80	0,8
Júpiter	1	1

La energía nuclear

¿Qué es lo que hace que una estrella se mantenga brillando permanentemente?

Esta cuestión no preocupó a los astrónomos hasta la década de 1840. Hasta entonces, se suponía que las estrellas, y entre ellas el Sol, brillaban simplemente porque tenían esa propiedad. Las estrellas brillaban del mismo modo que el oro es amarillo. La amarillez del oro no disminuye con el tiempo: no se agota. Lo mismo parecía ocurrir con el brillo de las estrellas.

El cambio en este modo de pensar sobrevino en la década de 1840, cuando varios científicos, entre ellos el alemán Ludwig Ferdinand von Helmholtz, elaboraron la "ley de la conservación de la energía". Según esta ley, la energía no podía crearse ni destruirse; solamente se podía transformar.

Para Helmholtz, esto suscitaba la cuestión de la luz solar. La luz es una forma de energía, y el Sol ha estado irradiando luz en todas direcciones y en cantidades enormes durante incontables millones de años. Esta energía tenía que venir de alguna parte; no podía crearse de la nada.

En 1854, Helmholtz decidió que la única fuente posible de esta energía era la contracción gravitacional. El Sol se estaba contrayendo lentamente; todas sus partes estaban cayendo lentamente hacia el centro. La energía cinética de esta caída se convertía en luz y se irradiaba al exterior en todas direcciones.

Esto significaría que en el pasado el Sol era mucho más voluminoso que en la actualidad. De hecho, para suministrar la cantidad de energía que el Sol ha irradiado en los últimos 25 millones de años tendría que haber tenido al principio un diámetro de 300.000.000 de kilómetros, y haberse contraído en ese período de tiempo hasta su diámetro actual de 1.400.000 de kilómetros.

Parecía entonces, según el razonamiento de Helmholtz, que el Sol tenía que haber sido hace unos 25 millones de años lo que nosotros llamaríamos ahora una gigante roja, y que su volumen se extendía entonces hasta la órbita de la Tierra. Ello, a su vez, significaba que la Tierra no podría haber existido antes de aquel tiempo, y que sólo podía tener 25 millones de años.

Los geólogos, que estudiaban la corteza terrestre y estaban seguros de que su edad era muy superior a 25 millones de años, discreparon. Tampoco les parecía bien a los biólogos, que estudiaban la evolución y estaban seguros de que habían sido necesarios más de 25 millones de años para que se desarrollase la vida actual.

La única forma de salir del dilema estaba en encontrar una nueva fuente de energía, que fuese mayor que ninguna conocida en los tiempos de Helmholtz, de la cual pudiera estar alimentándose el Sol (y otras estrellas).

Esto fue lo que ocurrió. En la década de 1890 se descubrió la radiactividad, lo cual llevó a la constatación de que el átomo tiene una estructura. En el mismo centro del átomo se encuentra un diminuto "núcleo atómico" cuyo diámetro es sólo una cienmilésima del de aquél, a pesar de lo cual ahí se halla concentrada casi toda la masa del átomo. Alrededor del núcleo, en la región exterior del átomo, existen una o más partículas ligeras, llamadas electrones, que contienen como máximo 1/1.800 de la masa atómica.

Cuando los electrones se desplazan de un átomo a otro, se producen los cambios químicos, y el resultado de tales cambios es que se absorbe o se libera energía química. La energía de los seres vivientes, incluida la que desarrollamos en nuestros propios cuerpos, es

esta clase de energía química. La luz y el calor de un fuego de leña, la forma en que la gasolina al quemarse impulsa a un automóvil, o la fragmentación de una roca mediante una explosión de dinamita, son otros tantos ejemplos de conversión de energía química en otras clases de energía.

El núcleo atómico está formado por otras partículas aún menores, los protones y los neutrones. Al igual que los electrones, estas partículas nucleares pueden desplazarse, separarse, combinarse, etc. el resultado es que se absorbe o se libera energía nuclear en cantidades generalmente mucho más grandes -para un peso dado de sustancia- que en el caso de la energía química.

Una bomba nuclear es un ejemplo de la conversión de energía nuclear en otras formas.

Una vez que se comprendió que existía la energía nuclear, se pudo ver rápidamente que ésta tenía que ser el origen de la luz solar. Pero ¿qué era lo que ocurría en el interior del sol para desatar la energía nuclear?

Puesto que el Sol está formado principalmente por hidrógeno, la fuente ha de hallarse en reacciones en las que intervenga el núcleo de este elemento. No hay en el Sol ninguna otra cosa que pueda justificar toda la energía que ha emitido, no sólo en unos cuantos millones de años, sino en miles de millones. Existen indicios que prueban que el Sol ha venido brillando durante unos cinco mil millones de años prácticamente en la misma forma en que lo hace actualmente.

En 1938, el físico germano-norteamericano Hans Albrecht Bethe aplicó los conocimientos que sobre los núcleos atómicos se habían acumulado en los cuarenta años precedentes para demostrar que la energía procede de la formación o "fusión" de cuatro núcleos de hidrógeno para formar un núcleo de helio.

Para mantener al Sol brillando como lo hace actualmente, es preciso que unos 590 millones de toneladas métricas de hidrógeno se conviertan en 585,8 millones de toneladas métricas de helio *¡cada segundo!* (Los 4,2 millones de toneladas métricas que faltan se convierten en radiación solar.) A vista de esto, puede parecer que el Sol está perdiendo peso con una rapidez alarmante, pero en realidad hay en él una cantidad total de hidrógeno tan grande, que esta pérdida puede proseguir al ritmo actual durante miles de millones de años, sin que por eso se altere de modo importante la situación.

La evolución estelar

Actualmente, los astrónomos han resuelto ya lo que creen que deben ser los cambios progresivos que experimenta una estrella: los detalles de la "evolución estelar".

Las estrellas, antes de nacer, son gigantescas y voluminosas conglomeraciones de polvo rarificado y de gas, principalmente hidrógeno. Lentamente, el polvo y el gas forman una nebulosa, que gira y se condensa bajo la atracción de su propia gravedad. La nebulosa se va haciendo más pequeña y más densa, y en su centro se hace más densa todavía.

A medida que se condensa la nebulosa, su centro se hace no sólo cada vez más denso, sino progresivamente más caliente, al convertirse en calor la energía de la caída de la materia hacia el interior (como Helmholtz había sugerido). Los núcleos de hidrógeno chocan entre sí a velocidades cada vez mayores, y con energía también creciente.

Si la nebulosa inicial es pequeña, podría terminar formando un cuerpo compacto de masa no superior a la del planeta Júpiter. En tal caso, el centro puede ser muy denso y tener una temperatura elevada, pero ni su densidad ni su temperatura son suficientes para hacer que los átomos de hidrógeno sufran la fusión que los convierta en helio. Para que tal fusión se produzca, han de alcanzarse temperaturas de millones de grados. Para objetos celestes del tamaño de Júpiter o menores, nunca llega a haber probabilidad alguna de "ignición nuclear" en el centro, y el cuerpo no llega a brillar con luz propia. Por muy elevada que llegue a ser la temperatura en el centro, la superficie permanece oscura y fría.

Si la nebulosa tiene el tamaño suficiente para terminar siendo un cuerpo compacto de masa por lo menos 40 veces mayor que la de Júpiter, la densidad y la temperatura en su centro alcanzan el punto de ignición. En tal caso se libera energía suficiente para calentar el resto del cuerpo, de modo que el objeto empieza a brillar con luz propia, y entonces es ya una estrella.

Las estrellas cuya masa es sólo varias docenas o incluso un par de centenas de veces mayor que la de Júpiter, son todavía tan pequeñas que, aun cuando sean suficientemente grandes para llegar al punto de ignición nuclear, sus temperaturas alcanzan sólo el valor necesario para que su superficie suba hasta 3.000° C, y llegan sólo a ponerse al rojo. Alpha Centauri C, cuya masa es 230 veces mayor que la de Júpiter, es un ejemplo de esto.

Una nebulosa más grande se condensaría formando un cuerpo de mayor masa y, por consiguiente, podría alcanzar mayores densidades y temperaturas en su centro, producir una fusión nuclear más rápida, y alcanzar temperaturas más elevadas.

Las nebulosas en condensación, una vez que se han condensado lo suficiente para la ignición, entran en la secuencia principal. La posición exacta en que penetren en ella depende de la masa del cuerpo en concentración. Un cuerpo celeste pequeño, tal como Alpha Centauri C, se convierte en una estrella de la clase M. Otros cuerpos crecientemente mayores entran en la clase K, como Alpha Centauri B, o en la clase C, como Alpha Centauri A o nuestro Sol. Otras masas aún mayores entran como clase A, B o incluso O. Una vez que una estrella está en la secuencia principal, permanece en ella y produce energía a un ritmo bastante constante, hasta que su provisión de hidrógeno empieza a escasear. Cuando esto ocurre, las cosas empiezan a cambiar. El centro de la estrella se ha ido calentando cada vez más a medida que ésta se ha ido haciendo vieja y, si la estrella es suficientemente grande, sus temperaturas centrales alcanzan el punto en que pueden tener lugar otras clases de reacciones nucleares, distintas de la fusión del hidrógeno en helio.

Las otras clases de reacciones nucleares no generan tanta energía como la fusión de hidrógeno, y la estrella empieza a cambiar radicalmente de aspecto. Para empezar, inicia una expansión y, al hacerlo, su superficie se enfría y va cambiando hacia el color rojo. En otras palabras, la estrella se expande hasta convertirse en una gigante roja. Cuanto más masiva haya sido la estrella en un principio, más grande será la gigante roja en que se convierta.

Después de la fase de gigante roja, la estrella se contrae de nuevo para pasar a ser una enana blanca, o una estrella todavía más compacta. Antes de esta contracción, o mientras dura, una estrella especialmente grande puede estallar en forma muy violenta, lanzando al espacio la mayor parte de su masa.

Una vez que una estrella empieza a agotar su provisión de hidrógeno y comienza su expansión, ha salido de la "secuencia principal". En comparación con el tiempo de permanencia en dicha secuencia, el que transcurre a enana blanca (con explosión o sin ella)

es muy corto. Análogamente, el tiempo que necesita una nebulosa para condensarse hasta el punto en que, como estrella, entra en la secuencia principal, es bastante breve.

La mayor parte de la vida de una estrella es la que pasa en la secuencia principal. Esa es la razón por la que aproximadamente el 90 por 100 de las estrellas existentes han alcanzado ya la secuencia principal y no la han abandonado todavía.

Pero ¿cuánto tiempo permanece una estrella en la secuencia principal?

Naturalmente, esto depende del tamaño de la estrella, pero tal vez no en la forma que uno pudiera esperar. Una estrella grande tiene una provisión de hidrógeno mayor que la de una estrella pequeña, de modo que uno diría que una estrella grande tiene probabilidades de arder durante más tiempo y permanecer en la secuencia principal más que una estrella pequeña... pero la cosa no es así. La verdad es que ocurre lo contrario.

Veamos. Cuanto más grande es una estrella, más caliente habrá de estar en su centro para mantenerla expandida contra la atracción de su propia gravedad. Y cuanto más caliente haya de estar, más rápidamente habrá de producirse la fusión del hidrógeno, y más rápido será el ritmo al que este elemento desaparezca. El ritmo al que ha de desaparecer el hidrógeno aumenta mucho más rápidamente que la masa. Si una estrella tiene una masa doble que la de otra, la estrella grande consume su hidrógeno a un ritmo muy superior al doble del de la otra, de manera que, en realidad, la estrella grande consume su combustible antes que la pequeña.

Por lo tanto, cuanto más grande sea una estrella, más corta será su vida en la secuencia principal. En la tabla 36 se da una estimación de la vida en la secuencia principal para estrellas de las diferentes clases espectrales.

En la tabla 37 se da una estimación de la vida en la secuencia principal para ciertas estrellas concretas.

TABLA 36. -*Período de vida en la secuencia principal (clases espectrales)*

Clase espectral	*Luminosidad (Sol = 1)*	*Período de vida en la secuencia principal (miles de millones de años)*
O	6.000.000	Menos de 0,001
B0	6.000	0,01
B5	600	0,1
A0	60	0,5
A5	20	1,0
F0	6	2,0
F5	3	4,0
G0	1,3	10
G5	0,8	15
K0	0,4	20
K5	0,1	30
M0	0,02	75
M5	0,001	200

TABLA 37. -*Período de vida en la secuencia principal (estrellas individuales)*

Estrella	*Período de vida en la secuencia principal (miles de millones de años)*
Beta Centauri	0,01

Rigel	0,4
Sirius A	0,5
Altair	1,0
Canopus	2,0
Procyon A	4,0
Capella	10
Alpha Centauri A	**12**
Sol	12
Tau Ceti	18
Alpha Centauri B	**30**
61 Cygni A	30
61 Cygni B	40
Estrella de Barnard	200
Alpha Centauri C	**200**

Como puede verse en las tablas 36 y 37, la vida de las estrellas muy masivas es realmente breve. Esa es una de las razones por las que hay tan pocas estrellas de gran masa en la secuencia principal: su rápida desaparición. Las diversas gigantes rojas y enanas blancas son probablemente en su mayoría restos moribundos de estrellas de masa considerablemente superior a la del Sol. Las estrellas bastante más oscuras que el Sol todavía no han tenido tiempo de morir en el transcurso de la existencia del universo (que puede tener una edad de unos 25.000 millones de años).

Invirtiendo el razonamiento, las estrellas brillantes normales que llenan nuestro cielo y que son las que primero acuden a nuestra mente cuando pensamos en las estrellas, no pueden ser muy viejas. Si lo fueran, habrían salido ya de la secuencia principal y serían gigantes rojas o enanas blancas. En los tiempos de los dinosaurios, Spica, Sirius, Rigel, Regulus, Vega y otras estrellas semejantes, no estaban en el cielo. Todavía no se habían formado. Y dentro de unos cuantos millones de años habrán desaparecido.

Sirius A, cuando se formó, orbitaría probablemente alrededor de Sirius B, que se formó al mismo tiempo y que, probablemente, tendría una casa mucho mayor que la de Sirius A ya desde el principio. Hace millones de años, Sirius B llegó al final de su permanencia en la secuencia principal, explotó, despidió al espacio la mayor parte de su materia, y lo que quedó, ahora con menos masa que Sirius A, se contrajo hasta convertirse en una enana blanca.

Nuestro Sol es una estrella que tiene una esperanza de vida intermedia, ya que es una estrella de masa y luminosidad también intermedias. Su tiempo de vida en la secuencia principal es de alrededor de 12.000 millones de años. Ahora lleva brillando unos 5.000 millones de años, de modo que todavía se encuentra en el final de su juventud o el comienzo de su madurez..., aunque, como irá calentándose lentamente cada vez más, la vejez no será tan cómoda como lo fue la juventud.

Alpha Centauri A tiene un tiempo de vida en la secuencia principal igual al del Sol, pero no podemos saber con seguridad qué parte de esa vida ha transcurrido ya. Nuestro conocimiento de la edad del Sol lo hemos deducido en gran parte de datos concernientes a la Tierra, la luna y los meteoritos. Si Alpha Centauri A (acerca de la cual no poseemos datos similares) nació antes que el Sol dejará la secuencia principal y se expandirá para convertirse en una gigante roja no muy grande mientras nuestro Sol continúe brillando como de costumbre. Si Alpha Centauri A nació después que nuestro Sol, entonces seremos nosotros los que nos vayamos primero.

Una cosa de la que podemos estar seguros es de que la expansión a gigante roja y la contracción a enana se realizarán en el caso del Sol, en el de Alpha Centauri, y en el de cualesquiera otras estrellas de masa media o pequeña, sin explosión catastrófica. Las grandes explosiones son características de las estrellas grandes, de mucha masa y vida breve.

Si no podemos tener seguridad alguna en cuanto a si el Sol y Alpha Centauri A se formaron al mismo tiempo o no y, en caso negativo, sobre cuál de las dos se formó primero, por lo menos podemos estar razonablemente seguros de que Alpha Centauri A, Alpha Centauri B y Alpha Centauri C se formaron todas al mismo tiempo a partir de una nebulosa que giraba en torbellino y que se desgarró en tres partes desiguales antes de completar su condensación.

Es posible que Alpha Centauri A, habiendo nacido del fragmento de mayor masa, se condensara un poco más rápidamente que las otras dos, y Alpha Centauri C un poco más lentamente que sus dos hermanas. La diferencia en el ritmo de condensación, sin embargo, fue probablemente pequeña en relación con su vida total, y bien podríamos decir que los tres miembros del sistema de Alpha Centauri tienen aproximadamente la misma edad.

Sin embargo, no disfrutarán todos los mismos tiempos de vida en la secuencia principal. Cuando Alpha Centauri A deje la secuencia principal, Alpha Centauri B habrá vivido sólo 2/5 de su vida, y Alpha Centauri C solamente 1/12 de la suya. Cien mil millones de años después que el Sol y Alpha Centauri A sean enanas blancas, enfriándose muy lentamente hasta convertirse en enanas negras, Alpha Centauri C seguirá todavía luciendo con su pálido tono rojizo, muy parecido al de ahora, y todavía con miles de millones de años de vida por delante.

8. La vida entre las estrellas

Las estrellas adecuadas

Hasta ahora, a lo largo de este libro, hemos trazado el cuadro de un vasto universo con numerosas estrellas separadas entre sí por enormes distancias. En toda esta dilatada extensión, ¿hay vida en cualquier otra parte que no sea el único sitio en que sabemos que existe... aquí en la Tierra?

Cabría, claro está, preguntar primero qué entendemos por vida.

La única clase de vida que conocemos es la terrestre. Toda la que hay sobre la Tierra es químicamente muy semejante. Toda ella está basada en moléculas muy grandes, muy complejas, muy delicadas, las principales de las cuales pertenecen a los grupos llamados proteínas y ácidos nucleicos. Estas moléculas son similares en todas las formas de vida, desde la más compleja a la más simple, y en todos los casos están o disueltas en agua, o asociadas muy íntimamente con ella.

¿Es ésta la única clase de vida que puede existir? ¿Podría haber formas de vida basadas en otros tipos de moléculas complejas? Las moléculas complejas de nuestra clase de vida están constituidas por intrincados anillos y cadenas de átomos de carbono, con otras clases de átomos (principalmente hidrógeno, nitrógeno y oxígeno) adheridas o agregadas aquí y allá. ¿Podría haber otras formas de vida que no emplearan para nada los átomos simples, o implicar algún otro líquido que no fuera el agua? ¿Podrían existir algunas formas de vida tan extrañas que desafiasen toda descripción?

Podemos hablar de tales formas de vida extrañas y especular acerca de ellas, pero no tenemos indicio alguno de su existencia. No hemos recibido de ninguna parte del universo la mínima migaja de información que nos dé el menor motivo para creer en la posibilidad de extrañas formas de vida *no* basadas en las proteínas, los ácidos nucleicos y el agua.

Hasta que tales pruebas aparezcan, no tenemos más opción que confinar nuestro estudio a la vida tal como la conocemos. Tenemos que preguntarnos si en cualquier lugar del universo existe vida similar a la nuestra en su química básica. Desde luego, tampoco tenemos indicios de ello, pero por lo menos sabemos que existe aquí en la Tierra, de modo que en este aspecto no podemos decir que no contamos con nada.

Aun cuando no tengamos indicios directos de la existencia de nuestra clase de vida (llamémosla solamente "vida" para abreviar) en otras partes, podemos considerar la clase de condiciones que necesitaríamos para ella (basándonos en lo que sabemos de nosotros mismos y de nuestro propio mundo) y ver si honradamente podemos esperar que exista vida en cualquier lugar distinto de la Tierra.

Por ejemplo, la vida necesita disponer de un suministro constante de energía para mantener la existencia de esas complicadas moléculas. Sin energía, esas moléculas no se pueden formar, y todas las que ya hay se fraccionarían, de modo que la vida cesaría de existir.

El único lugar que conocemos en que la vida puede tener la seguridad de una copiosa provisión de energía durante un período de miles de millones de años es en la inmediación de una estrella.

Eso significa que hay una gran cantidad de lugares en los que la vida puede tener seguro un suministro de energía. El sistema estelar al que pertenece nuestro Sol, la Galaxia de la Vía Láctea, incluye tal vez 135.000.000.000 de estrellas. En el universo, hasta donde alcanzan nuestros instrumentos más avanzados, puede haber hasta 100.000.000.000 de galaxias más, cada una con sus miles de millones de estrellas.

Supongamos que consideramos sólo nuestra propia Galaxia. Si llegamos a la conclusión de que podría existir vida en cierto número de lugares de ella, sólo necesitaríamos multiplicar ese número por cien mil millones o así, para averiguar cuántos lugares hay en todo el universo observable.

Sin embargo, no todas las estrellas constituyen una buena vecindad para la vida. Una vez que una estrella deja la secuencia principal, sus expansiones, contracciones y posibles explosiones borrarán con toda seguridad cualquier forma de vida que exista en sus inmediaciones. Por consiguiente, hemos de ceñirnos a las estrellas de la secuencia principal. Eso nos deja todavía el 90 por 100 de todas las estrellas de la Galaxia, aproximadamente 122.000.000.000.

Pero ¿qué ocurre con las estrellas de la secuencia principal? ¿Son algunas de ellas más adecuadas para la vida que otras?

Sin duda, algunas de ellas son muy luminosas y otras son más débiles, pero eso en sí no es demasiado inconveniente. Cabría perfectamente imaginar el desarrollo de la vida en un planeta de una estrella enormemente luminosa, siempre que girara alrededor de ella a una distancia muy grande, capaz de atenuar el calor y la luz, de modo que la lejana gigante no brillara más que el manso Sol de nuestro cielo. Análogamente, el desarrollo de la vida en la vecindad de una estrella débil podría producirse muy cerca de ella, captando así el calor y la luz necesarios.

Hay, sin embargo, otros inconvenientes que debemos tener en cuenta. Cuanto más brillante es la estrella, más breve es su duración y menos tiempo hay para que la vida se desarrolle en sus inmediaciones antes de que la estrella salga de la secuencia principal y lo destruya todo.

Nadie sabe exactamente cuánto tiempo ha de transcurrir para que se desarrollen formas complicadas de vida. La Tierra asumió su forma actual hace unos 4.600 millones de años. Tres mil millones de años después (hace 1.600 millones de años), la vida era todavía primitiva, unicelular y tal vez no demasiado común. Es de suponer, pues, que sólo hallaríamos útiles aquellas estrellas que permanecieran en la secuencia principal *por lo menos* tres mil millones de años. Eso elimina a cualquier estrella de las clases espectrales 0, B y A. También se eliminan las estrellas más luminosas, de la clase espectral F.

Vamos a empezar por el otro extremo. Supongamos que la Tierra estuviese en órbita alrededor de una estrella de la clase M, tal como Alpha Centauri C. Su órbita habría de estar a una distancia de sólo un millón de kilómetros o así, a fin de conseguir energía suficiente para la vida. Sin embargo, de moverse en esa órbita, ciertos efectos gravitatorios resultarían perjudiciales para esa misma vida.

La atracción gravitatoria se reduce con la distancia, según una fórmula bien conocida. Ello significa que el lado de la Tierra situado frente al Sol experimenta la atracción de éste con más fuerza que el lado alejado de él. Esta diferencia entre las dos fuerzas de atracción tiende a estirar muy ligeramente la Tierra en la dirección del Sol, y produce lo que se conoce como "efecto de marea".

El efecto de marea no es muy grande en el caso del sistema Sol-Tierra. La anchura o diámetro total de la Tierra es sólo el 0,008 por 100 de la distancia que la separa del Sol, y la atracción gravitatoria de éste no disminuye mucho en una distancia tan pequeña.

El efecto de marea aumenta en forma muy rápida a medida que decrece la distancia entre dos cuerpos. Incluso un cuerpo pequeño, pero próximo, puede producir unos efectos de marea mayores que los debidos a un cuerpo grande pero lejano.

La Luna es mucho más pequeña que el Sol, y tiene sólo 1/27.000.000 de la masa de éste. Sin embargo, está separada de la Tierra por sólo 1/400 de la distancia a que se encuentra el Sol. Esa diferencia de distancia de 400 veces compensa sobradamente la diferencia de masas de 27.000.000 veces, y el efecto de marea que la Luna ejerce sobre la Tierra es dos veces mayor que el producido por el Sol sobre nuestro planeta.

Un planeta como la Tierra tendría que orbitar alrededor de una estrella de la clase M a una distancia no muy superior a la existente entre la Tierra y la Luna para poder conseguir la energía suficiente, y la estrella de la clase M sería mucho más masiva que la Luna. Por lo tanto, la Tierra, en órbita alrededor de una estrella de la clase M, sufriría un efecto de marea mucho mayor que el que ahora experimenta por la acción del Sol y de la Luna.

El efecto de marea retarda la rotación de un planeta; si ese efecto es grande, le obligará muy pronto a orbitar alrededor de su sol presentándole siempre la misma cara, y manteniendo la opuesta siempre oculta a él. Uno de los lados se calentaría demasiado para permitir la vida; el otro, en cambio, estaría demasiado frío.

Por consiguiente, podemos eliminar, de nuestro censo de lugares cuya vecindad es adecuada para la vida, a todas las estrellas de la clase espectral M.

Así pues, sólo nos quedan estrellas adecuadas en las clases espectrales G y K, además de algunas de la clase espectral F, más oscura.

Este resultado no es demasiado malo. En conjunto, significa que aproximadamente 1 de cada 4 estrellas de la secuencia principal pertenece a las clases espectrales adecuadas; es decir, unas 30.000.000.000 en nuestra Galaxia.

Los planetas habitables

De nada sirve disponer de una estrella adecuada como fuente de energía si no hay ningún planeta orbitando alrededor de ella para recibir esa energía. ¿Son muchas las estrellas que poseen planetas, o es nuestro Sol una excepción muy poco corriente?

El astrónomo inglés James Hopwood Jeans pensaba que, efectivamente, el Sol era bastante excepcional. Este científico sugirió en 1917 que para que naciera un sistema planetario hacía falta que dos estrellas pasaran muy próximas una a otra. La atracción gravitatoria entre ellas arrancaría materia de ambas, y esta sustancia estelar llegaría en su momento a enfriarse para formar planetas.

Si ello fuera así, los sistemas planetarios serían, efectivamente, muy raros. Las estrellas están tan alejadas entre sí y se mueven tan lentamente en comparación con las distancias que las separan, que casi nunca se producen acercamientos próximos a la colisión. Si la teoría de Jeans fuese correcta, muy bien pudiera ser que los únicos sistemas planetarios de la Galaxia fuesen el de nuestro Sol y el de la estrella que estuvo a punto de colisionar con él.

Sin embargo, la teoría de Jeans adolecía de importantes deficiencias. Jeans la elaboró antes de que Eddington hubiese mostrado las elevadísimas temperaturas que existen en el interior de una estrella. Una vez que se aceptaron los cálculos de Eddington pudo verse que la materia supercaliente sacada del interior de una estrella no haría más que expandirse para formar un gas muy rarificado. Nunca podría formar un planeta al enfriarse.

En realidad parece que, cuando una nube de polvo y gas se condensa para constituir un sol, es muy corriente que esa nube se subdivida en varias nubes secundarias y termine constituyendo una binaria o un sistema multiestelar aún más complicado. De las estrellas próximas a nosotros, casi la mitad son sistemas multiestelares, y no existe ninguna razón para suponer que nuestra propia vecindad sea inusual en este aspecto.

¿Es posible, entonces, que en la formación de las estrellas la nube de polvo y gas produjese algunas nubes secundarias tan pequeñas que formasen cuerpos de tamaño insuficiente para que en su centro se produjese la ignición nuclear... es decir, planetas?

El astrónomo alemán Carl Friedrich von Weizsäcker elaboró en 1944 una teoría que describía la forma en que se contraía una nube de polvo y gas. Cerca del centro, la materia se condensaba para producir una estrella, pero en las regiones periféricas el polvo y el gas cuyo movimiento sufría algún retardo empezaban a girar en forma de torbellinos o remolinos y, en esta forma, generaban planetas. Si esta teoría es correcta, entonces toda estrella, al formarse, debe ir acompañada de planetas.

¿Existe alguna forma en que se pueda comprobar esta teoría? ¿Podemos ver realmente si las estrellas tienen planetas o no? ¿Podemos ver los planetas?

Desgraciadamente, los planetas no brillan, a no ser con luz reflejada, y ésta es demasiado débil para poder ser vista a distancias estelares, especialmente si tenemos en cuenta que la luz mucho más brillante de las estrellas, alrededor de las cuales orbitan, la enmascararía por completo.

Sin embargo, algunos planetas podrían ser detectados por sus efectos gravitatorios.

Un planeta y la estrella alrededor de la cual gira se mueven alrededor de un centro de gravedad común. Si ese centro de gravedad está suficientemente alejado del centro de la estrella, ésta, vista desde la Tierra, parece bambolearse u oscilar atrás y adelante, y esto sería indicio seguro de la existencia de un planeta acompañante, aun cuando no se pudiera ver.

En 1844, por ejemplo, Bessel notó que tanto Sirius como Procyon tenían estas oscilaciones, y dedujo la existencia de un "compañero oscuro" para cada una de ellas, una especie de planeta de gran masa. En ambos casos resultó, sin embargo, que el compañero era una enana blanca, bastante débil para que se la pudiera ver, pero suficientemente brillante para que con el tiempo se la llegara a detectar.

Para que el centro de gravedad esté a una distancia considerable del centro de la estrella, el planeta asociado con ella ha de tener una masa que sea una fracción respetable de la de aquélla, y ha de orbitar a una distancia considerable de la misma. Sirius B, por ejemplo, tiene una masa de aproximadamente la cuarta parte de la de Sirius A, y se encuentra a 3.000 millones de kilómetros de ella.

Júpiter, por otra parte, tiene sólo 1/1.000 de la masa del Sol y está sólo a 780 millones de kilómetros de él. El bamboleo u oscilación del Sol es muy pequeño y, si se lo observase desde la distancia de Sirius, no sería perceptible en absoluto. Y si no fuese posible detectar desde la distancia de Sirius la presencia de Júpiter, es evidente que la de la Tierra, mucho más pequeña que este planeta y considerablemente más próxima al Sol, no podría serlo tampoco.

Si hemos de detectar a un planeta por su centro gravitatorio sobre la estrella alrededor de la cual orbita, el planeta ha de tener una masa mucho mayor que la de Júpiter, o estar a una distancia de su estrella bastante mayor que la que separa a Júpiter del Sol, u orbitar alrededor de una estrella con masa considerablemente inferior a la del Sol... o las tres cosas. Además, la estrella ha de hallarse bastante próxima a nosotros, porque si no el movimiento de bamboleo u oscilación no sería bastante grande para poder percibirlo.

Estas condiciones son bastante estrictas. Son pocas las estrellas que las reunirían; sólo las próximas y pequeñas. ¿Y si no tienen planetas muy grandes, sino sólo pequeños?

A pesar de todo, los astrónomos observaron. El astrónomo holandés-norteamericano Peter Van de Kamp informó que 61 Cygni A (a 11,2 años-luz de nosotros) tenía una minúscula oscilación. Decidió que había en órbita alrededor de 61 Cygni A un cuerpo oscuro de masa ocho veces superior a la de Júpiter, el cual describía una órbita cada 4,8 años. Parecía que ésta era la forma más sencilla de explicar la oscilación.

Posteriormente, en 1960, se informó que un planeta con una masa diez veces mayor que la de Júpiter giraba alrededor de Lalande 21185 (cuya distancia a nosotros es 8,1 años-luz) con un período orbital de diez años. En 1963 se comunicó que había un cuerpo de tamaño más reducido (sólo 1,5 veces la masa de Júpiter) orbitando alrededor de la estrella de Barnard (alejada de nosotros por una distancia de 5,9 años-luz). En realidad, los estudios continuados sobre la oscilación de la estrella de Barnard indicaron que podría haber dos planetas girando alrededor de ella, uno con la masa de Júpiter y otro con la de Saturno.

Si existen planetas grandes alrededor de alguna estrella determinada, parece razonable suponer que también podrían existir planetas pequeños, cuyo reducido tamaño impediría su detección por sus efectos gravitatorios.

Si los planetas se pueden detectar sólo en unas condiciones en rígidas y estrictas (estrellas pequeñas y próximas, con planetas grandes que orbiten a gran distancia de ellas) y, sin embargo, se los ha detectado en un buen número de estrellas, esto parece respaldar la teoría de Weizsäcker. Actualmente, la mayoría de los astrónomos están dispuestos a aceptar que los planetas son el acompañamiento natural de las estrellas. Y tampoco es necesario que tales planetas orbiten exclusivamente alrededor de estrellas sencillas, puesto que el primer planeta detectado en un sistema distinto del nuestro se hallaba en órbita alrededor de 61 Cygni A, que forma parte de un sistema binario cuyo otro miembro es 61 Cygni B. En consecuencia, el planeta recibió el nombre de 61 Cygni C.

Por todo ello, si hay en nuestra Galaxia 30.000.000.000 de estrellas adecuadas para la vida, podríamos suponer que también hay 30.000.000.000 de sistemas planetarios adecuados para la vida.

Vida y civilización

Aun si concedemos que haya planetas en órbita alrededor de todas las estrellas adecuadas, ¿son todos esos planetas adecuados para la vida?

Seguramente no. En nuestro propio sistema solar hay numerosos cuerpos planetarios, pero la mayoría de ellos están desprovistos de todo lo que llamamos vida. Algunos están demasiado alejados del Sol y demasiado fríos. Otros, por el contrario, están excesivamente próximos y demasiado calientes. Algunos son demasiado pequeños para

retener una atmósfera y un océano, sin los cuales no se puede desarrollar la vida. Otros son tan grandes que tienen una atmósfera de hidrógeno, enormes gravedades, intenso calor interno, y son hostiles a la vida por otros conceptos.

Un planeta, para poder sustentar vida, ha de hallarse justamente a la distancia adecuada de su estrella. Ha de tener una órbita razonablemente circular y un eje con una inclinación sólo moderada, para así evitar unas estaciones climáticas extremadas. No ha de girar demasiado lentamente, o tendrá temperaturas diurnas y nocturnas extremadas... Y así sucesivamente.

Puesto que el único sistema planetario que conocemos en forma detallada es el nuestro, es difícil calcular cuáles son las probabilidades de que haya en órbita alrededor de una estrella un planeta de condiciones exactamente adecuadas. Nuestro propio sistema planetario tiene sólo uno, la Tierra; pero, ¿hemos sido anormalmente afortunados y en general no hay ninguno más, o anormalmente desafortunados y generalmente hay varios?

En 1963, el astrónomo norteamericano Stephen H. Dole, haciendo las mejores estimaciones que le eran posibles tomando como base de partida los datos relativos a nuestro propio sistema solar, pensaba que tal vez una de cada 450 estrellas adecuadas tendría un planeta capaz de sustentar vida. Sugería que podría haber 645.000.000 de planetas habitables sólo en nuestra Galaxia.

Sin embargo, un planeta puede ser habitable sin estar habitado; puede ser adecuado para la vida, pero puede que ésta no se haya desarrollado en él. ¿Qué probabilidades hay de que se forme vida en un planeta habitable? ¿Se trata de un raro accidente, tan raro acaso que sólo se haya formado en la Tierra, y no en ningún otro lugar?

Los científicos creen que cuando la Tierra, o cualquier planeta similar a ella, se formó, era rica en sustancias constituidas por átomos comunes y ligeros. Habría hidrógeno, como tal y en combinaciones con carbono, nitrógeno u oxígeno. La combinación de hidrógeno y carbono es el metano, la de hidrógeno y nitrógeno es el amoníaco, y la de hidrógeno y oxígeno es el agua.

Casualmente, las moléculas importantes de los tejidos vivientes están constituidas en su mayor parte por hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno. ¿Es posible, entonces, que las moléculas sencillas compuestas por estos elementos en la Tierra recién formada fuesen haciéndose gradualmente más complejas hasta que, finalmente, adquirieran las propiedades de la vida?

Para que esto ocurriese, las moléculas sencillas habrían tenido que ganar o adquirir energía, pero eso no es nada improbable. En las edades iniciales, había en la Tierra energía de sobra por doquier: energía procedente de la radiación solar, de los rayos, del calor interno del mismo planeta, de la radiactividad de su corteza, etc.

En 1952, el químico norteamericano Stanley Lloyd Miller realizó experimentos con un recipiente cerrado que contenía agua, amoníaco, metano e hidrógeno, y que él esterilizó cuidadosamente para asegurarse de que no se incluía en él ninguna forma de vida que pudiera originar cambios químicos.

Sometió luego esta mezcla a descargas eléctricas, como forma de aportación de energía. Tras una semana de este tratamiento, descubrió que la mezcla había adquirido un color rozado. Analizándola, halló moléculas más complicadas que aquellas con las que había empezado. Dos de ellas eran glicina y alanina, que son moléculas sencillas del tipo de las que constituyen las proteínas.

Durante veinte años se llevaron a cabo otros experimentos de esta clase, introduciendo variaciones en los materiales de partida y en las fuentes y formas de la

energía aplicada. Invariablemente, se formaban moléculas más complicadas, a veces idénticas a las que existen en el tejido viviente, otras veces relacionadas con ellas (aunque, desde luego, todavía no se ha formado ninguna que sea tan compleja como las sustancias químicas más complicadas de la vida: ni proteínas ni ácidos nucleicos reales). Pero todos los cambios parecen producirse en la dirección de la vida, tal como la conocemos.

Esto se hizo con pequeños volúmenes de mezcla y durante períodos de tiempo muy cortos. ¿Qué no se podría hacer con todo un océano y durante un período de un millón de años?

Pero, ¿es justo suponer que lo que ocurre en el laboratorio es indicativo de lo que ocurriría necesariamente en la naturaleza? Tal vez los científicos, sin pretenderlo, guíen u originen los acontecimientos y elijan la naturaleza de los experimentos de modo que se obtengan los resultados que esperan.

No podemos retroceder en el tiempo para ver qué ocurrió realmente en la Tierra cuando ésta era joven, pero de vez en cuando tropiezan con la Tierra pequeños objetos procedentes del espacio exterior. Mientras cruzan la atmósfera a gran velocidad, la fricción los caldea hasta el punto de fusión; pero, si son suficientemente grandes, algunos de ellos sobreviven hasta llegar a la superficie terrestre en forma de meteoritos. Estos meteoritos son tan viejos como la Tierra, y para nosotros representan una especie de máquina del tiempo. Su química podría representar cómo era la Tierra antes de originarse la vida.

La mayor parte de los meteoritos están formados por rocas o por metales, y no contienen las clases de elementos a partir de los cuales podría haberse desarrollado la vida. Hay, sin embargo, un cierto tipo de meteoritos bastante raro, los condritos carbonosos, que *sí* contienen tales elementos ligeros.

En años recientes han caído dos de estos meteoritos. En 1950 lo hizo uno cerca de Murray, Kentucky; en 1969 cayó otro cerca de Murchison, Australia. Ambos fueron recogidos y estudiados por los científicos antes de que pudieran contaminarse con materiales del suelo terrestre. Resultó que los dos contenían átomos de carbono en combinaciones con el hidrógeno y otros átomos ocasionales que se parecían a la clase de ordenaciones halladas en las moléculas que se encuentran en los tejidos vivos. La misma clase de cambios que habían tenido lugar en el laboratorio, se habían producido también en esos meteoritos.

Tenemos, además, las nubes de polvo y gas que se pueden encontrar en el espacio exterior, entre las estrellas. Estas nubes emiten ondas de radio (semejantes a las de la luz, pero con longitudes de onda mucho más largas) y, juzgando por las longitudes de onda que recibimos, es posible averiguar la naturaleza de las moléculas existentes en tales nubes. En la década de 1970 se han detectado más de una docena de moléculas diferentes, la mayor parte de las cuales contienen átomos de carbono en combinación con hidrógeno, nitrógeno u oxígeno.

Podría parecer, pues, que hay en las moléculas simples una fuerte tendencia a hacerse más complicadas, incluso en condiciones desfavorables. Esto puede ocurrir en las nubes de polvo y gas del espacio y en los meteoritos, de modo que seguramente puede ocurrir también en la superficie de un planeta tal como la Tierra. Un detalle bastante interesante: todos los cambios que se han observado son en la dirección de nuestra clase de vida, y no de alguna otra forma cuya química sea básicamente diferente.

Parece razonable, por tanto, llegar a la conclusión de que en todos los planetas habitables llegará a formarse vida, y de que ésta será siempre del tipo de la nuestra. Según

los cálculos de Dole, sólo en nuestra Galaxia debería haber 645.000.000 de planetas portadores de vida.

Pero, ¿cuántos de estos planetas sustentadores de vida están ocupados por una especie de criatura viviente dotada de inteligencia bastante para construir una civilización?

No tenemos forma de saberlo. Todo lo que podemos decir es que nuestro propio planeta tiene 4.600.000.000 de años, según las mejores estimaciones, y que en él ha habido una civilización desde hace diez mil años como máximo, si contamos desde los tiempos en que algunos pueblos empezaron a construir ciudades primitivas. Ello significa que, en estos momentos, ha habido una civilización sobre la Tierra sólo durante 1/500.000 de la historia de ésta.

No sabemos si esto es típico. Las civilizaciones pueden aparecer más pronto en algunos planetas, más tarde en otros. Pueden durar millones de años, o pueden destruirse en sólo unos milenios. Pero supongamos que a este respecto adoptamos el término medio y que decidimos que existe una civilización en un planeta de cada medio millón de los que sustentan vida.

En ese caso, habría unas 1.300 civilizaciones sólo en nuestra Galaxia (y, desde luego, más de mil billones si se tienen en cuenta las demás galaxias).

Estas civilizaciones pueden hallarse en diversas etapas de adelanto. Si suponemos que nosotros representamos el término medio también es este aspecto, puede haber en nuestra Galaxia 650 civilizaciones que estén más adelantadas que la nuestra.

La localización de la vida de otros mundos

Naturalmente, estamos más interesados en los planetas portadores de vida que en los muertos, y más interesados aún en aquellos planetas portadores de vida en que existan civilizaciones avanzadas. Si tales civilizaciones existen, ¿podemos decir dónde?

Hasta ahora no podemos.

Las civilizaciones podrían venir en viaje de exploración y llegar hasta nosotros, pero hasta ahora no lo han hecho. Desde luego, son frecuentes las noticias acerca de "objetos volantes no identificados", y los entusiastas creen que esto representa esa exploración. Si ello es así, sin embargo, no ha producido ningún resultado, y si se exceptúan los informes de "testigos presenciales", plagados de errores, engaños y confusión, no existe indicio o prueba de ninguna clase. Erich von Däniken, en su libro *El carro de los dioses (Chariot of the Gods)*, sostiene que tales equipos de exploración visitaron la Tierra en tiempos prehistóricos; estos escritos han logrado una gran popularidad entre la gente sencilla e ingenua, pero las cosas que sugieren no se pueden tomar en serio.

Si las civilizaciones superiores se quedan en sus planetas, o se limitan a explorar su propio e inmediato sistema planetario, todavía hay la posibilidad de que emitan señales de alguna especie que pudiéramos captar. Precisamente por eso, los astrónomos han explorado el cielo de vez en cuando para ver si había alguna clase de radiación acompañada de algún conjunto de signos regulares sospechoso, como si estuviera siendo emitida con la intención deliberada de despertar interés. Hasta ahora no se ha detectado ninguna radiación de este tipo, si bien los esfuerzos humanos han sido hasta hoy de poca entidad.

Supongamos que decidimos realizar un reconocimiento del espacio, intenso y mantenido durante largo tiempo, para intentar captar cualquier clase de señales que pudiera existir en él. ¿Existen algunos lugares en los que debiéramos concentrar nuestra atención?

Podemos adelantar bastante por el método de la eliminación. Por ejemplo, cuanto más lejana está la fuente de la radiación, más débil será ésta cuando llegue a nosotros. Desde una fuente muy distante, una civilización tendría que estar emitiendo radiación con unas intensidades impracticablemente elevadas para que pudiera llegar a nosotros en forma identificable.

Por otra parte, cuanto más lejana estuviese una fuente viviente de señales, más largo sería el tiempo que éstas tardarían de llegar nosotros. Una señal procedente de la gran galaxia más próxima a la nuestra, la galaxia de Andrómeda, tardaría 2,3 millones de años en llegar a nosotros. Y, desde luego, cualquier respuesta que enviásemos necesitaría otros 2,3 millones de años para volver allá. Incluso un mensaje desde el centro de nuestra propia galaxia, necesitaría 30.000 años para alcanzarnos.

Parece, pues, que las consideraciones prácticas de energía y tiempo indican que tendríamos que concentrarnos en las estrellas de nuestra inmediata vecindad.

En un radio de unos 16 parsecs (52 años-luz) de nuestro sistema hay tal vez unas 2.400 estrellas. De éstas, una cuarta parte, o sea 600, deberían ser de la clase espectral adecuada para poseer, posiblemente, un planeta habitable. Según los cálculos de Dole, una de cada 450 de estas estrellas debería poseer efectivamente un planeta habitable, de modo que tenemos motivo para esperar que exista un planeta habitable y portador de vida a menos de 16 parsecs de nosotros. (Tal vez haya incluso dos o tres, si tenemos suerte...; pero tal vez no haya ninguno, si no la tenemos.)

Naturalmente, las probabilidades de que exista una civilización tan próxima podrían ser extremadamente pequeñas si nos atenemos a la suposición de que sólo uno de cada medio millón de planetas portadores de vida habría llegado a dar origen a algún tipo de sociedad civilizada. Esa suposición, sin embargo, podría ser equivocada. Tal vez las civilizaciones sean tan inevitables como la misma vida, y dondequiera que haya posibilidad de que exista un planeta portador de vida, deberían buscarse las señales de una civilización.

Bien, entonces, ¿en cuáles de las estrellas comprendidas en el límite de los 16 parsecs deberíamos concentrarnos? Usualmente, la decisión consiste en elegir estrellas que, como el Sol, sean sencillas y no formen parte de sistemas multiestelares, que estén tan próximas como sea posible a la clase espectral del Sol, y que se hallen lo más cercanas a nosotros que sea posible.

La estrella sencilla y de la misma clase espectral del Sol que se encuentra más cercana es Zeta Tucanae. Está a una distancia de 7,1 parsecs (23,3 años luz) de nosotros. Hay tres estrellas sencillas más próximas al Sol que Zeta Tucanae, pero son mucho más pequeñas y frías que el Sol (aunque no demasiado pequeñas o frías para tener un planeta habitable). Figuran incluidas en la tabla 38, en la que también se han incluido, con fines de comparación, Alpha Centauri A y Alpha Centauri B.

TABLA 38. -*Estrellas próximas semejantes al Sol*

Estrella	*Clase espectral*	*Luminosidad (Sol = 1)*	*Distancia*	
			Parsecs	*Años luz*
Zeta Tucanae	G2	0,9	7,14	23,3
82 Eridani	G5	0,7	6,20	20,2
Tau Ceti	G8	0,4	3,62	11,8

Epsilon Eridani	K2	0,3	3,28	10,7
Alpha Centauri B	**K2**	**0,3**	**1,34**	**4,40**
Alpha Centauri A	**G2**	**1,0**	**1,34**	**4,40**

Por lo común, cuando se habla de la detección de señales procedentes de otros planetas no se menciona el sistema de Alpha Centauri. Sin embargo, obsérvese que Alpha Centauri A se parece a nuestro Sol tanto como Zeta Tucanae, si no más, y que está a sólo un quinto de la distancia de ésta. Es más, Alpha Centauri B se parece mucho a Epsilon Eridani, y está separada de nosotros por sólo dos quintos de la distancia de esta estrella.

¿Por qué no investigar el sistema de Alpha Centauri como un posible hogar de vida y civilización? (Naturalmente, eliminamos de toda consideración a Alpha Centauri C.)

La única objeción a ello es que Alpha Centauri A y Alpha Centauri B forman un sistema binario y, en este aspecto, difieren drásticamente del Sol.

Es posible, sin embargo, que la objeción no sea justa. Los sistemas binarios pueden tener también sistemas planetarios. La binaria 61 Cygni tiene por lo menos un planeta en órbita alrededor de 61 Cygni A, y pudiera ocurrir que cada una de las dos estrellas tenga un sistema planetario. También podría ser así en el sistema Alpha Centauri.

Cabría argumentar, desde luego, que la presencia de una segunda estrella podría hacer excesivamente extremadas las condiciones en un planeta, producir una órbita demasiado excéntrica, introducir extremos perjudiciales de temperatura.

No tiene por qué ser forzosamente así. Si se introdujese a Alpha Centauri B en nuestro sistema solar y se la obligase a orbitar alrededor del Sol, en lugar de hacerlo alrededor de Alpha Centauri A, es claro que los planetas que giran en la órbita de Júpiter y en las más alejadas experimentarían grandes perturbaciones debidas a la nueva estrella y al campo gravitatorio de la misma. Sin embargo, los planetas de la región más interior del sistema solar, incluida la Tierra, se hallarían demasiado próximos al Sol para que Alpha Centauri B pudiese perturbarlos mucho.

Dole argumenta que Alpha Centauri A y Alpha Centauri B podrían *ambas* tener un sistema planetario interior equivalente al nuestro hasta aproximadamente la órbita de Júpiter y que, en cada caso, estos sistemas no experimentarían perturbaciones demasiado graves como consecuencia de la estrella compañera. Cada una de las estrellas podría entonces tener un planeta habitable y portador de vida orbitando a su alrededor. (También podría haber planetas a una distancia relativamente grande, que orbitasen alrededor del centro de gravedad de las dos estrellas, en forma bastante parecida a como lo hace Alpha Centauri C. Sin embargo, lo probable es que éstos estuviesen demasiado lejanos para ser habitables.)

Dole calcula cuáles son las probabilidades de que cada una de varias de las estrellas más próximas pueda tener un planeta habitable. Encuentra en la vecindad próxima al Sol seis estrellas que, según su análisis, tienen aproximadamente una posibilidad entre 20 (una probabilidad de 0,05) de poseer un planeta habitable. Estas estrellas se presentan en la tabla 39.

TABLA 39. -*Estrellas con buenas probabilidades de tener un planeta habitable*

Estrella	*Distancia*	
	Parsecs	*Años-luz*
Alpha Centauri A	**1,35**	**4,40**
Alpha Centauri B	**1,35**	**4,40**

70 Ophiuchi A	5,31	17,3
Eta Cassiopeiae A	5,52	18,0
Delta Pavonis	5,89	19,2
82 Eridani	6,20	20,2

De estas seis estrellas con mayores probabilidades, Alpha Centauri A y Alpha Centauri B son con mucho las más próximas, pero no es ésta su única ventaja. Las otras cuatro se encuentran en diferentes direcciones, y el desplazamiento desde cualquiera de ellas a cualquiera de las otras implicaría un viaje con una duración de años-luz. Sin embargo, Alpha Centauri A y Alpha Centauri B forman parte del mismo sistema. El viaje a una de ellas significa estar a una distancia planetaria de la otra. Es el único caso, de todas las estrellas incluidas en la tabla 39, en que es posible investigar dos estrellas en un solo viaje, por decirlo así.

Por consiguiente, hemos de preguntarnos cuáles son las probabilidades de que Alpha Centauri A o Alpha Centauri B tengan un planeta habitable. Dole estima que estas probabilidades son del orden de 0,107, es decir, superiores al 10 por 100.

Así pues, de las estrellas más cercanas con probabilidades de poseer planetas habitables, el sistema de Alpha Centauri no es sólo el más próximo, con mucha diferencia, sino también el que tiene mayores probabilidades. Lo cual quiere decir que si vamos a investigar las estrellas en busca de habitabilidad, vida y civilización, deberíamos poner al sistema Alpha Centauri a la cabeza de la lista.

En ninguna de las observaciones del sistema Alpha Centauri existe desde luego prueba alguna de que en él se estén originando señales sospechosas de ningún tipo; pero esto es algo que no nos debe sorprender.

Aun cuando exista una civilización, puede no estar enviando señales, o puede estar transmitiéndolas de una naturaleza tal que nosotros no las reconozcamos. También puede ocurrir que, aun cuando no exista en él una civilización, el sistema Alpha Centauri posea sin embargo un planeta habitable, portador de un tipo de vida incapaz de construir una civilización. Incluso eso sería enormemente interesante.

En ausencia de señales, es posible que nunca seamos capaces de observar si hay o no un planeta habitable en el sistema Alpha Centauri, a menos que vayamos directamente allí. ¿Podemos realizar tal visita?

El sistema Alpha Centauri se halla a una distancia de 4,40 años-luz. Ello significa que un rayo de luz necesitaría 4,40 años para cruzar el vacío entre nosotros y Alpha Centauri, y luego otros 4,40 años para volver a nosotros. Los científicos están actualmente completamente convencidos de que ningún objeto material puede viajar a velocidad superior a la de la luz, de modo que los astronautas que realizasen el viaje de ida y vuelta habrían de permanecer ausentes como mínimo 8,80 años, hiciesen lo que hiciesen.

(Algunos científicos han especulado con la posibilidad de que existan partículas cuya velocidad sea siempre superior a la de la luz. Si ello es así, tal vez fuese posible utilizarlas para realizar entre las estrellas viajes mucho más rápidos y cortos de lo que resultarían en cualquier otra forma. La realidad, sin embargo, es que estas partículas super rápidas no han sido detectadas todavía, y hay algunos científicos que afirman que no pueden existir.)

Naturalmente, las naves no despegan instantáneamente a la velocidad de la luz. Ni, yendo a la velocidad de la luz, podrían parar instantáneamente en el sistema Alpha Centauri. Tampoco querrían dar la vuelta instantánea e inmediatamente tan pronto como

llegasen a Alpha Centauri, y emprender el viaje de regreso. En lugar de ello, habría un período de aceleración a velocidades cada vez más grandes, hasta alcanzar algún valor máximo, y luego un período de deceleración a velocidades cada vez menores, hasta llegar a Alpha Centauri. Vendría después un período de exploración, tras el cual se realizaría el viaje de retorno siguiendo un proceso similar de aceleración y desaceleración.

Un viaje de este tipo no es probable que exija menos de veinte años en total, desde el punto de vista de los que queden esperando en la Tierra.

Aun cuando un viaje de veinte años se considere aceptable, los períodos de aceleración y desaceleración consumirían mucha energía, y es dudoso (si se prescinde de algún gran y revolucionario adelanto en la tecnología) que una nave espacial pueda llevar una fuente de energía suficientemente grande para proporcionar la que sería necesaria.

Supongamos, en lugar de ello, que se utiliza la aceleración para desarrollar cierta velocidad razonable, y que luego se deja que la nave prosiga todo el resto del viaje aprovechando ese empuje inicial. Para ello no es necesaria energía alguna, aunque, desde luego, será preciso consumir cierta cantidad para el funcionamiento de los equipos que hagan posible la vida a bordo de la nave.

Algunos de los cohetes que los seres humanos han lanzado al espacio en los últimos veinte años han viajado a velocidades de hasta 18 kilómetros por segundo. Supongamos que podemos construir una nave que alcance una velocidad diez veces superior a ésta -es decir, 180 kilómetros por segundo- y que luego pueda continuar avanzando sin más energía motriz en la dirección del sistema Alpha Centauri. ¿Cuánto tiempo tardaría la nave en llegar a las inmediaciones de ese sistema?

¡Necesitaría 7.400 años! Y, desde luego, tras un período de exploración, su vuelta a la Tierra exigiría otros 7.400 años.

Si la nave hubiera partido en la época del patriarca bíblico Abraham, ahora estaría sólo a poco más de la mitad de camino hacia Alpha Centauri.

Por consiguiente, no sería fácil llegar a este sistema; y, evidentemente, llegar a cualquiera de las otras estrellas sería aún más difícil. En realidad, si no se producen grandes e inesperados avances en la tecnología, es muy posible que los hombres de la Tierra nunca consigan ir a Alpha Centauri ni a ninguna de las demás estrellas.

Por otra parte, si alguna vez se establecen colonias espaciales, cada una de las cuales lleve decenas de miles de seres humanos, esas colonias espaciales podrán ser equipadas con algún avanzado sistema de propulsión espacial, en cuyo caso podrían emprender el viaje a las estrellas. A los colonos de a bordo no les importará el tiempo que tal viaje pueda exigir, puesto que llevarán consigo su propio hogar... pero en ese caso es muy probable que nunca puedan volver a la Tierra.

Sin embargo... es difícil penetrar en el futuro. Tal vez llegue un tiempo en que se pueda llegar fácilmente a las estrellas por algún método no previsto ahora mismo. Y, si ello es así, es muy natural predecir que las primeras estrellas que se exploren serán las del sistema Alpha Centauri.

Incluso puede ocurrir que si Alpha Centauri A o Alpha Centauri B poseen un planeta habitable en el que no existan formas inteligentes de vida nativa, los seres humanos colonicen tal planeta. Entonces, el sistema de Alpha Centauri será el primer lugar en que los seres humanos se construyan una nueva vida bajo un sol extraño.

9. Glosario

Ácido nucleico.-Una gran molécula, formada por muchos átomos, que es característica de todas las formas de vida.

Agua.-Sustancia cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Alanina.-Una sustancia con moléculas que contribuyen a la formación de proteínas.

Amoníaco.-Una sustancia con moléculas constituidas por un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno.

Análisis espectroscópico.-La determinación de la naturaleza química de un objeto mediante el estudio de la posición exacta de sus líneas espectrales.

Ángulo.-Figura que se forma cuando dos líneas rectas se reúnen en un punto, o cuando dos planos se cortan a lo largo de una línea.

Año-luz.-La distancia recorrida por la luz en un año: alrededor de 9.500.000.000.000 kilómetros.

Apastro.-El punto en que es máxima la distancia que separa a dos astros que giran cada uno alrededor del otro.

Átomo.-Partícula de materia constituida por un núcleo central rodeado de electrones.

Binaria espectroscópica.-Dos estrellas que giran cada una alrededor de la otra a distancias tan reducidas que aparecen como una sola estrella, incluso usando el telescopio, pero que el espectroscopio permite diferenciar como dos estrellas distintas gracias al corrimiento de sus líneas espectrales.

Centro de gravedad.-El punto alrededor del cual se desplazan dos cuerpos al girar cada uno alrededor del otro.

Clases espectrales.-Grupos de estrellas que se parecen entre sí en el aspecto general de sus espectros.

Condrito carbonoso.-Un meteorito que contiene átomos de carbono y otros átomos ligeros.

Conservación de la energía.-La propiedad que tiene la energía del universo de cambiar de forma, pero nunca de aumentar o disminuir en cantidad.

Constelación.-Agrupación de estrellas en el firmamento, generalmente representada bajo alguna forma familiar.

Corrimiento hacia el rojo.-El cambio de posición de las líneas espectrales hacia el extremo rojo del espectro cuando, por ejemplo, la fuente de luz se esta alejando de nosotros.

Corrimiento hacia el violeta.-El cambio de posición de las líneas espectrales hacia el extremo violeta del espectro cuando, por ejemplo, la fuente de luz se desplaza hacia nosotros.

Declinación.-La medida (en grados) de distancias por encima o por debajo del ecuador celeste.

Densidad.-La masa de un objeto dividida por su volumen.

Diámetro.-La longitud de una línea recta que pasa por el centro de una figura geométrica o de un cuerpo astronómico.

Eclíptica.-El plano que pasa por el centro del Sol y por todos los puntos de la órbita de la Tierra.

Ecuador.-La circunferencia cuyos puntos se hallan a la misma distancia de los polos de un objeto que gira.

Ecuador celeste.-Un círculo imaginario alrededor del cielo, que queda exactamente encima de todos los puntos del ecuador terrestre.
Efecto Doppler.-El cambio de tono de un sonido cuando su fuente u origen se acerca a nosotros o se aleja.
Efecto Doppler-Fizeau.-El cambio que se produce en la longitud de onda de la luz cuando su fuente u origen se acerca o se aleja de nosotros.
Efectos de marea.-Aquellos efectos producidos por la diferencia entre la atracción gravitatoria ejercida sobre un lado de un cuerpo celeste y la producida sobre el lado opuesto del mismo objeto.
Eje mayor.-Un diámetro que pasa por los focos de una elipse: el diámetro más largo de una elipse.
Eje menor.-Un diámetro perpendicular al eje mayor de una elipse; el diámetro más corto de una elipse.
Eje de rotación.-La línea recta imaginaria que atraviesa un objeto, y alrededor de la cual gira éste.
Electrón.-Una partícula subatómica que se halla en las regiones exteriores del átomo.
Elipse.-Una curva cuyo aspecto es el de un círculo aplanado.
Enana blanca.-Estrella muy pequeña, de dimensiones no superiores a las de un planeta, pero con masa igual a la de una estrella de tamaño normal.
Energía.-Propiedad de un objeto que le permite la realización de un trabajo.
Escala centígrada o Celsius.-Forma de medir temperaturas, en la cual el agua se congela a 0 grados y hierve a 100 grados.
Esfera celeste.-La esfera que, según nuestros sentidos cuando la observamos, parece formar el cielo o firmamento.
Espectro.-La luz que se ha extendido o descompuesto de modo que cada longitud de onda diferente ocupe un lugar distinto, como ocurre en el arco iris.
Espectroscopio.-Aparato o dispositivo utilizado para formar el espectro de una estrella o de algún otro objeto brillante.
Espectros estelares.-Los espectros de las estrellas.
Estrella.-Una masa de materia mucho mayor que un planeta, en cuyo interior tiene lugar la fusión nuclear, haciendo que aquélla se caliente y brille emitiendo luz.
Estrellas binarias.-Dos estrellas que se encuentran próximas en el espacio y que giran cada una alrededor de la otra.
Estrellas dobles.-Dos estrellas que parecen hallarse muy próximas en el cielo.
Estrella doble telescópica.-Dos estrellas lo bastante próximas para parecer una sola a simple vista, pero que a través de un telescopio se revelan como dos distintas.
Estrellas de neutrones.-Diminutas estrellas, más pequeñas que las enanas blancas y cuyo diámetro puede llegar a tener sólo diez kilómetros, a pesar de lo cual tienen tanta masa como las estrellas de tamaño normal.
Estrellas ternarias.-Tres estrellas, próximas entre sí, que forman parte de un solo sistema.
Evolución estelar.-Los cambios que se producen en las propiedades de las estrellas en el transcurso del tiempo.
Excentricidad.-El grado de aplanamiento de una elipse, y los cambios de distancia de un objeto en órbita con respecto al objeto a cuyo alrededor gira.
Fases.-Las diferentes formas que toma la parte iluminada de un planeta o un satélite que brilla con luz reflejada de una estrella.

Foco.-Uno de los dos puntos situados en el eje mayor de una elipse, a distancias iguales del centro de ésta y en lados opuestos del mismo.
Fusión del hidrógeno.-La unión forzada de cuatro átomos de hidrógeno para constituir un átomo de helio; este proceso, liberador de energía, constituye la fuente energética de nuestro Sol y de otras estrellas de la secuencia principal.
Fusión nuclear.-La unión forzada de pequeños núcleos atómicos para formar núcleos atómicos algo mayores.
Galaxia.-Una gigantesca acumulación de estrellas, que puede contener desde millones de éstas hasta miles de billones. En particular, la conglomeración de la que forma parte nuestro Sol.
Gigante roja.-Una estrella de volumen enormemente grande y de temperatura superficial relativamente baja.
Glicina.-Una sustancia cuyas moléculas contribuyen a la formación de las proteínas.
Grado.-Una medida angular igual a 1/360 de la circunferencia de un círculo.
Gravitación.-La atracción que un objeto ejerce sobre los demás objetos del universo.
Helio.-Gas compuesto por átomos que ocupan el segundo lugar en orden de simplicidad; es el constituyente más abundante en las estrellas de la secuencia principal.
Interferómetro.-Un aparato capaz de medir la falta de perfecto paralelismo entre dos haces o rayos de luz o de otra radiación.
Latitud celeste.-Declinación.
Latitud, paralelos de.-Líneas imaginarias que corren de este a oeste y son paralelas al ecuador en la Tierra, o al ecuador celeste en el firmamento.
Línea de base.-El cambio de posición desde el que se observa un mismo objeto para determinar su paralaje.
Longitud de onda.-La longitud de una onda cualquiera; particularmente, de una onda luminosa o de naturaleza análoga.
Longitud, meridianos de.-Líneas imaginarias de norte a sur, que se extienden de un polo a otro de un cuerpo giratorio.
Luminosidad.-El brillo comparativo de objetos situados a igual distancia del observador.
Magnitud.-El brillo aparente de un objeto que luce en el firmamento. Cuanto más brillante es el objeto, más bajas son las cifras que expresan su magnitud.
Magnitud absoluta.-La magnitud que tendría una estrella si se encontrara situada a diez parsecs de distancia.
Masa.-De un modo general, la cantidad de materia que hay en un objeto.
Metano.-Sustancia cuyas moléculas están formadas por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno.
Meteorito.-Pequeño cuerpo, procedente del espacio, que ha caído sobre la superficie sólida de la Tierra.
Minuto de arco.-Medida angular igual a 1/60 de grado.
Molécula.-Un grupo de átomos que se mantienen juntos en forma más o menos permanente.
Movimiento propio.-El movimiento de una estrella en el firmamento, resultante de su propio movimiento en relación con las demás estrellas.
Nebulosa.-Una nube de polvo y gas en el espacio.
Neutrón.-Una partícula subatómica, que no lleva carga eléctrica y que se encuentra en el núcleo atómico.

Nitrógeno.-Un tipo de átomo que es esencial para la vida. Forma hasta 4/5 de la atmósfera terrestre.
Núcleo atómico.-Diminuta estructura que hay en el centro del átomo y que contiene casi toda la masa de éste.
Orbita.-La trayectoria seguida por un objeto que gira alrededor de otro.
Oxígeno.-Un tipo de átomo que es esencial para la vida. Forma hasta 1/5 de la atmósfera terrestre.
Paralaje.-El cambio aparente de posición de un objeto próximo, comparado con otro más distante, cuando el observador cambia la posición desde la cual mira al primero.
Paralaje estelar.-La paralaje de una estrella.
Parsec.-La distancia a la cual un objeto exhibiría una paralaje de un segundo de arco; aproximadamente 3,26 años luz.
Partículas subatómicas.-Las diminutas partículas que, en conjunción con otras de tamaño similar, forman un átomo.
Periastro.-El punto de máxima proximidad entre dos estrellas que giran una alrededor de la otra.
Período orbital.-El tiempo que un objeto necesita para describir una vuelta completa alrededor de otro.
Período de revolución.-El tiempo que necesita un astro completar una vuelta alrededor de otro.
Planeta.-Un cuerpo que gira alrededor de una estrella y que brilla sólo con luz reflejada.
Polos celestes.-Puntos imaginarios del firmamento que se encuentran exactamente encima de los polos norte y sur de la Tierra.
Prisma.-Una barra de cristal cuya sección transversal es triangular.
Proteína.-Una gran molécula, formada por muchos átomos, y que es característica de todas las formas de vida.
Protón.-Una partícula subatómica, portadora de carga eléctrica, que se encuentra en el núcleo atómico.
Radiactividad.-La descomposición lenta, pero constante, de ciertos átomos que, en el proceso, liberan energía y radiación.
Revolución.-El movimiento giratorio de un cuerpo alrededor de otro.
Rotación.-El movimiento giratorio de un cuerpo alrededor de su eje.
Secuencia principal.-Aquellas estrellas que constituyen la mayoría de las que vemos, ni gigantes ni enanas, sino con tamaño y luminosidad normales.
Segundo de arco.-Media angular igual a 1/60 de un minuto de arco.
Telescopio.-Instrumento formado por un tubo que contiene lentes, espejos, o ambas cosas, y que hace que los objetos distantes aparezcan más grandes, próximos y brillantes.
Temperatura.-La intensidad del calor.
Unidad astronómica.-La distancia media de la Tierra al sol; alrededor de 150.000.000 de kilómetros.
Velocidad espacial.-La velocidad del movimiento de un objeto, a través del espacio tridimensional, con respecto a nosotros.
Velocidad radial.-La velocidad del movimiento de una estrella a lo largo de nuestra línea de visión, es decir, directamente hacia el observador o alejándose de él.
Velocidad transversal.-La velocidad del movimiento de una estrella en dirección perpendicular a nuestra línea de visión.
Volumen.-El espacio ocupado por cualquier objeto.

Zodíaco.-Una banda de doce constelaciones que forma una circunferencia alrededor del firmamento, y dentro de la cual parecen moverse el Sol, la Luna y los planetas.

10. Índice